

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Є.В. Іващенко
«__» _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
на тему: «Створення зміцнених покриттів на сталі Ст3 багаторазовим нанесенням
елементів Cu (Al), C, Zr в процесі електроіскрового легування »**

Виконала:
студент II курсу, групи ФМ-71мп
Хархута Катерина Сергіївна _____

Керівник:
доцент, к.т.н.,
Іващенко Є.В. _____

Консультанти із експериментальної частини:
доцент, к.т.н.,
Лобачова Г.Г. _____

Консультант з охорони праці безпеки в надзвичайних ситуаціях:
професор, д.т.н.,
Левченко О.Г. _____

Консультант із розробки стартап-проекту:
доцент, к.е.н.,
Глущенко Я.І. _____

Консультант із питань нормоконтролю:
асистент КФМ,
Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:
Доцент, к.т.н.,
Бобіна М.М. _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство (Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Хархуті Катерині Сергіївні

1. Тема дисертації «Створення зміцнених покриттів на сталі Ст3 багаторазовим нанесенням елементів Cu (Al), C, Zr в процесі електроіскрового легування», науковий керівник дисертації Іващенко Євген Вадимович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2018 р. № 4127-с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження – сталь Ст3 після електроіскрового легування анодами Cu (Al), Zr, C на повітрі в різній послідовності нанесення.
4. Вихідні дані: Сталь Ст3, чисті метали Cu, Al, C, Zr.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
 - 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
 - 3) провести електроіскрове легування;
 - 4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
 - 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.;
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 39 рисунків та презентація.
7. Орієнтовний перелік публікацій:

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	Лобачова Г.Г., доцент, к.т.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., професор, д.т.н.		
Розробка стартап-проекту	Глуценко Я.І., доцент, к.е.н.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел	14.09.2018	
2.	Підготовка зразків для електроіскрового легування (ЕІЛ)	24.09.2018	
3.	Проведення ЕІЛ та гравіметрія	01.10.2018	
4.	Рентгенівські дослідження зразків після ЕІЛ	15.10.2018	
5.	Аналіз та обробка отриманих результатів дослідження	12.11.2018	
6.	Розробка стартап-проекту, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	19.11.2018	
7.	Оформлення магістерської дисертації, створення презентації	03.12.2018	

Студент

Хархута К.С.

Науковий керівник дисертації

Іващенко Є.В.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 84 ст., 33 рис., 18 таб, 55 джерел

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), ЛЕГОВАНІЙ ШАР, СТАЛЬ Ст3, ЦИРКОНІЙ, ВУГЛЕЦЬ, АЛЮМІНІЙ, МІДЬ

Об'єкт дослідження – сталь Ст3 після електроіскрового легування анодами: Cu (Al), C, Zr у різній послідовності нанесення.

Мета роботи – вивчення структури, кінетики формування, фазового складу, мікротвердості легованих шарів, отриманих на поверхні сталі Ст3 електроіскровим легуванням алюмінієвим, мідними, цирконієвим та графітовим анодами на повітрі, в різній послідовності

Методи дослідження – мікроструктурний, мікродюрOMETричний, гравіметричний, рентгеноструктурний.

Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі Ст3 при ЕІЛ анодами Cu (Al), Zr, C та вплив послідовності їх нанесення на фазовий склад та мікротвердість легованих шарів.

Виявлено, що більш високі значення мікротвердості, легованого шару, мають зразки сталі Ст3, які оброблені з використанням анодів Cu, Zr, C в порівнянні з використанням анодів Al, Zr, C.

Показано, що найвищу мікротвердість має легований шар при ЕІЛ сталі в послідовності Cu-C-Zr (19.7 ГПа)

Практичне завдання: отримані в роботі результати та встановлені закономірності формування структури та властивостей легованих шарів після процесу електроіскрового легування на повітрі можуть бути використані для подовження строку експлуатації деталей машин та механізмів, що працюють в умовах екстремальних навантажень.

ABSTRACT

Master thesis: 84pp., 33 pic., 18 tab., 55 sources.

ELECTRO-SPARK ALLOYING (EIJ), ALLOYED LAYER, STEEL St3, ZIRCONIUM, CARBON, ALUMINIUM, COPPER

The object of the study is the steel of St3 after the electro-spark alloying by anodes: Cu (Al), C, Zr in the different sequence of causing.

The purpose of the work is a study of structure, kinetics of forming, phase composition, microhardness of the alloyed layers got on surfaces permanent of St3 the electro-spark alloying aluminium, by copper, zirconia and graphite anodes on air, in a different sequence

Research methods - microstructure, мікродюрOMETРИЧНИЙ, gravimetrical, рентгеноСТРУКТУРНИЙ.

The possibility of hardened coatings formation on steel St3 at electric – spark alloying (ESA) by Cu, Al, Zr, C anodes and the influence of the sequence of their application on the phase composition and microhardness of the doped layers has been established

It was found that higher values of the alloyed layer microhardness have steel St3 samples, which are processed using anodes Cu, Zr, C in comparison with the use of anodes Al, Zr, C.

Practical task: the results and set conformities to law of forming of structure and properties of the alloyed layers got in-process after the process of the electro-spark alloying on air can be drawn on for lengthening of term of exploitation of details of machines and mechanisms that work in the conditions of the extreme loading.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ	9
ВСТУП.....	10
1 Літературний огляд	12
1.1 Формування покриттів при електроіскровому легуванні на сталях	12
1.2 Поняття про електроіскрове легування	16
1.3 Фізичні основи процесу електроіскрового легування.....	17
1.3 Вплив параметрів електроіскрової обробки на склад, будову, властивості поверхневих шарів	18
1.4 Структура та склад електроіскрових покриттів.....	20
1.5 Висновки до розділу 1	23
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1 Матеріал дослідження	24
2.2 Методика експерименту	25
2.3 Методика досліджень	27
2.3.1 Гравіметричний метод.....	27
2.3.2 Мікроструктурний аналіз.....	28
2.3.3 Рентгеноструктурний аналіз	28
2.4 Висновки до розділу 2.....	29
3 Експериментальна частина та обговорення результатів.....	31
3.1 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності Cu – C – Zr.....	31
3.2 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Zr – Cu.....	35

3.3 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Cu – Zr.....	39
3.4 Структура а властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності Al – C – Zr	42
3.5 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Al – Zr	46
3.6 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Zr – Al	49
3.7 Порівняльна характеристика властивостей електроіскрових покриттів легованих в послідовності: Cu – C – Zr; C – Zr – Cu; C – Cu – Zr; Al – C – Zr; C – Al – Zr; C – Zr – Al.....	53
3.8 Висновки до розділу 3	57
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	58
4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	58
4.2 Висновки до розділу 4	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ	62
5.1 Аналіз роботи в приміщенні	62
5.1.1 Склад повітря робочої зони	64
5.2 Аналіз шуму та вібрації.....	65
5.3 Інженерні рішення	66
5.3.1 Освітлення	66
5.3.2 Аналіз штучного освітлення.....	67
5.3.3 Електробезпека.....	69
5.3.4 Вентиляція приміщення лабораторії.....	70
5.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям.....	74
5.4.1 Пожежна безпека	74

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	76
5.5 Висновки до розділу 5	77
ВИСНОВКИ.....	78
CONCLUSIONS	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

ЕІЛ – ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ

НДР – НАУКОВО – ДОСЛІДНИЦЬКА РОБОТА

ОКР – ОБЛАСТЬ КОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЮВАННЯ

ВСТУП

Однією з найбільш важливих задач технічного прогресу є необхідність і забезпечення довговічності та надійності деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації, шляхом зміцнення поверхневого шару виробів. Розробка методів і технологій нанесення захисних покриттів на робочій поверхні та підвищення фізико - механічних характеристик отриманих шарів є дуже важливим завданням.

Електроіскрове легування є ефективним методом модифікації хімічного складу, структурно-фазового стану і властивостей поверхневих шарів, який оснований на використанні концентрованих потоків електричної енергії при протіканні імпульсних розрядів в міжелектродному середовищі і полярного перенесення матеріалу аноду на поверхню катоду (деталі). ЕІЛ є доступним, дешевим та мобільним засобом формування зміцненого поверхневого шару, який базується на принципі Шарпі, згідно з яким для забезпечення високої несучої здатності шар робочої поверхні повинен мати пластичну основу з твердими включеннями [1].

Дія імпульсних розрядів на поверхню струмопровідних матеріалів призводить до складних структурних і фазових перетворень, які визначають широкий комплекс властивостей, отриманих поверхневих шарів. В результаті дії рідких фаз матеріалів аноду і катоду в поверхневих шарах утворюються сплави з складом, який неможливо отримати традиційними металургійними методами. При цьому інтенсивні процеси нагріву матеріалу до високих температур з великими градієнтами температур, підвищеним масоперенесенням легуючих елементів і охолодженням з критичними швидкостями призводять до утворення твердих розчинів, інтерметалідних і металічних сполук, метастабільних проміжних фаз, а також вторинних фаз [2].

При електроіскровому легуванні вплив послідовності пошарового нанесення дуже суттєвий. Це відбивається на зміні товщини легованого шару та якості

Зміцнюючого покриття, що, в свою чергу, визначає їхні фізико-механічні властивості.

Аналіз літератури свідчить про недостатню кількість джерел присвячених вивченню впливу послідовності пошарового нанесення на структуру, фазовий склад і властивості поверхневих шарів сплавів сталі Ст3 після ЕІЛ алюмінієм (міддю), цирконієм та графітом, тому це є актуальним завданням як у теоретичному так і в практичному аспекті, що потребує подальшого дослідження [2].

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

У роботах [1-3] автори показали, що технологічні режими обробки мають істотний вплив на твердість нанесеного шару. Мікротвердість покриття може в 1,5 рази – 3,0 рази перевищувати твердість матеріалу основи [3].

Однією з найважливіших задач матеріалознавства залишається підвищення надійності та довговічності деталей машин і механізмів, які працюють у складних умовах. Один з методів досягнення зазначеної задачі полягає у створенні поверхні з підвищеними експлуатаційними характеристиками за рахунок зміни її структури та складу [4].

Одним з перспективних методів поверхневої обробки сталей і сплавів є електроіскрове легування (ЕІЛ), яке забезпечує створення зміцненого шару на поверхні виробу. Електроіскрове легування (ЕІЛ) дозволяє покращувати механічні, термічні, електричні, термостійкісні та інші властивості робочих поверхонь, за рахунок модифікування їх структури, що сприяє підвищенню твердості, міцності, зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості та ін. Цей метод заснований на явищі електричної ерозії матеріалів при іскровому розряді і полярному переносі продуктів ерозії з аноду (легуючого електрода) на катод (основу) із утворенням зміненого поверхневого шару[4].

1.1 Формування покриттів при електроіскровому легуванні на сталях

Низьколеговані сталі є найпоширенішими у промисловості, оскільки вони мають достатньо високу міцність та високий рівень пластичності. Але при роботі такі деталі піддаються дії циклічних та динамічних навантажень, що призводить до їх руйнування. Тому актуальним напрямком є покращення їх експлуатаційних характеристик. Іноді, достатньо зміцнення тільки їх робочої поверхні [5].

Для покращення властивостей робочих поверхонь матеріалів, а саме підвищення міцності, зносостійкості та корозійностійкості використовують різні методи, і в тому числі нанесення захисних покриттів [6].

Проте методи хімічного та фізичного нанесення покриттів шляхом осадження парів потребують використання коштовного обладнання, що не рентабельно в умовах малосерійного виробництва.

Метод ЕІЛ заснований на явищі електричної ерозії матеріалів при іскровому розряді та полярному переносі продуктів ерозії, з аноду на катод із утворенням зміненого поверхневого шару. Спосіб електроіскрового легування дозволяє отримувати покриття на металевих поверхнях різними струмопровідними матеріалами. Метод простий в технічному виконанні, володіє низькою енергоємністю, хоча відсутність задовільного розуміння механізму процесу ЕІЛ не дозволяє створювати покриття з наперед заданими властивостями, тим більше, що електроіскрові покриття складні за складом і структурою, їх властивості досить часто, в деякій мірі, непередбачені [7].

В результаті електроіскрового легування змінюються розміри деталі, рельєф, фізичні, хімічні та механічні властивості її поверхневого шару. Поверхневий шар набуває задану знижену структуру і склад. Виникає дрібно-кристалічна структура, утворюються інтерметаліди, нітриди, карбіди та ін., внаслідок чого підвищується поверхнева твердість [8].

ЕІЛ використовується для зміцнення та відновлення розмірів деталей машин і інструменту; підготовки поверхні під інші види обробки. Цей метод забезпечує підвищення твердості, зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості поверхонь, а також до зниження схоплень при терті [8].

До основних особливостей ЕІЛ відноситься:

- висока міцність зчеплення нанесеного матеріалу з основою (за рахунок механічного перемішування та взаємного дифузійного проникнення елементів матеріалу електродів в утвореному шарі) [9];

- можливість використовувати в якості легуючих матеріалів, як чистих металів, так і багатьох сплавів, металокерамічних композицій, тугоплавких з'єднань та ін.[9];
- незначний об'ємний нагрів деталі або його відсутність у процесі легування, який не впливає на фізико-механічні властивості деталі та її геометрію [9].

Важливою технологічною характеристикою процесу ЕІЛ є інтенсивність формування поверхневого шару і товщина покриття, які залежать від величини енергії розряду, що виділяється в між електродному проміжку і середнього струму робочих імпульсів. Чим менша енергія розряду, тим менша товщина нанесеного шару і його шорсткість. Наплавлення матеріалів методом ЕІЛ дозволяє отримувати будь-яку товщину покриття. Для отримання якісних і товстих покриттів застосовують електроди, які виплавлені з самофлюсувальних матеріалів на основі нікелю та міді. В якості матеріалу електроду-катода застосовують тверді сплави, які містять карбіди титану, вольфрам та кобальту, ферохром, хром-марганець, алюміній, білий чавун, сталь Ст3 і графіт. Електроіскрове зміцнення не впливає на ударну в'язкість, але знижує втомну міцність матеріалу, тому що при цьому методі обробки виникають залишкові напруження і збільшуються параметри шорсткості поверхні. Величина розтягуючи напружень залежить від режимів зміцнення і матеріалів електроду [10].

Процеси формування покриття на металевих частинах включають електроіскрове насичення маси, що приймає участь у процесі, і перенесення енергії, що супроводжується хімічними, електрохімічними і електротермічними реакціями [10, 11]. В останні роки, використовують різноманітні технології електроерозійного зміцнення, які застосовуються для формування покриттів та корегування мікрогеометрії поверхні [10, 12].

Процес електроіскрового насичення характеризується наступними показниками:

- ефект зміцнення залежить від насичення матеріалу аноду на поверхню катода; кращі результати були отримані, коли для аноду використовували дуже

твердий та зносостійкий матеріал, тобто вольфрам, титан або карбіди хрому;

- зовнішній загартований шар є результатом взаємодії елементів аноду і катоду з утворенням твердого розчину, хімічних компонентів, оксидів та нітридів;
- перенесення та взаємодія матеріалів електроду, так як і дія імпульсу при високій температурі та тиску, відповідальні за ефект зміцнення, і вони попереджають формування надзвичайно нестійких фаз [13].

Найбільш розповсюдженими електродними матеріалами для аноду є тверді сплави груп ТК і ВК; графіти марок МПГ-6,-7,-8; ЕЕПГ; сіліцирований графіт, а також можуть застосовуватися мідні, бронзові, латунні, алюмінієві сплави, бабіти та інші струмопровідні матеріали [4].

Електроіскрові леговані покриття характеризуються структурою, яка слабо протравлюється. Поверхневий шар створюється в середовищі локальної високої температури та високого тиску [14].

Покриття отримані при електроіскровому легуванні застосовують для:

1. захисту нових елементів;
2. відновлення властивостей зношених елементів.

Електроіскрове легування стає все більш і більш перспективним методом в технологіях обробки поверхні. Електроіскрова обробка застосовується в промисловості, наприклад, для виготовлення імплантатів або ріжучих пластин. Покриття наносяться за допомогою обладнання із ручним керування або із роботизовано системою [14].

Серед переваг електроіскрової обробки відмічають можливість локального нанесення покриттів, низьку енергоємність, екологічність і т.д.

Проте електроіскрове легування має і недоліки. Як було відмічено авторами роботи [10] та за даними робіт [10, 14], причиною незадовільного стану поверхні покриттів, які були отримані за допомогою установок серії «Елітрон», є наявність дугової стадії у генерованих ними імпульсах розряду. Це призводить до формування шорсткуватого покриття (у вигляді бугрів) із низьким коефіцієнтом перекриття поверхні. Крім того, дуговий розряд викликає плавлення матеріалів електродів та їх взаємодію, внаслідок чого бугри за перерізом характеризуються

перемінним складом зі значною долею матеріалу катода. Відмічені недоліки знижують конкурентну здатність електроіскрової технології у порівнянні із традиційними методами [15].

1.2 Поняття про електроіскрове легування

Електроіскрове легування (ЕІЛ) засноване на явищі електричної ерозії і перенесенні матеріалу анода на поверхню катода (деталі) при протіканні імпульсних (іскрових) розрядів в газовому середовищі (повітрі, аргоні, азоті та ін.). Він був розроблений Б.Р. Лазаренко і Н.І. Лазаренко [16, 17].

Головною метою досліджень є: отримання зносостійких покриттів методом ЕІЛ із газовим осадженням в середовищі повітря, аргону і водню.

Метод електроіскрового легування дозволяє вирішити наступні технологічні задачі:

- зміцнити приповерхневі шари конструкційних матеріалів, які широко використовуються, на основі сталі, заліза, титану, алюмінію, шляхом нанесення на поверхню металів, твердих сплавів, надтвердих матеріалів[17];
- варіювати в заданому напрямку хімічним та фазовим складом поверхні шляхом легування металами, інтерметалідами, графітом з метою підвищення корозійної стійкості, зносостійкості, зміни електроопору, емісійно-адсорбційних, теплофізичних та інших властивостей[17];
- відновлення розмірів інструменту, деталей машин і механізмів;
- варіювати в заданому напрямку мікрокристалічною, макрокристалічною та наноструктурами приповерхневих шарів матеріалу;
- відновити геометричні розміри деталей машин та інструментів з одночасним зміцненням поверхні [8, 9, 17].

Проте електроіскрове легування має і недоліки. Як було відмічено авторами роботи [18] та за даними робіт [12, 13], причиною незадовільного стану поверхні

покриттів, які були отримані за допомогою установок серії «Елітрон», є наявність дугової стадії у генерованих ними імпульсах розряду. Це призводить до формування шорсткуватого покриття (у вигляді бугрів) із низьким коефіцієнтом перекриття поверхні. Крім того, дуговий розряд викликає плавлення матеріалів електродів та їх взаємодію, внаслідок чого бугри за перерізом характеризуються перемінним складом зі значною долею матеріалу катода. Відмічені недоліки знижують конкурентну здатність електроіскрової технології у порівнянні із традиційними методами.

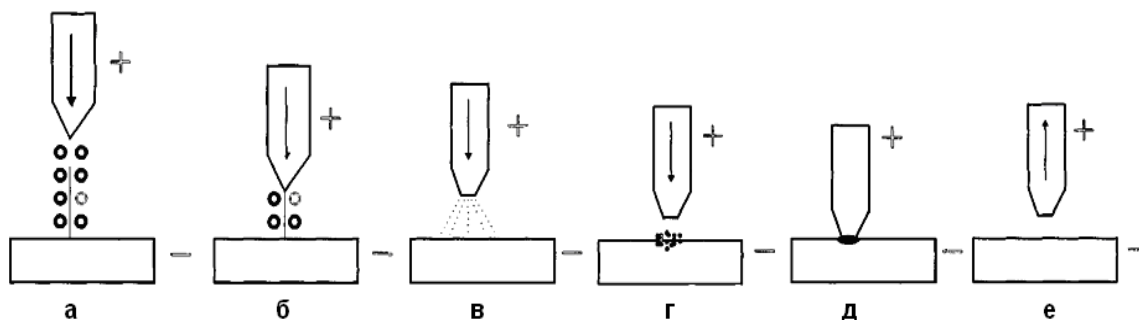
1.3 Фізичні основи процесу електроіскрового легування

Існують різні схеми процесу електроіскрового легування. Найбільш поширена схема, де поверхнею, яку обробляють, є катод, а легуючим електродом – анод [19].

При зближенні анода і катода росте напруженість електричного поля і при певній відстані між електродами виникає іскровий електричний розряд. Через утворений канал провідності жмут електронів фокусовано ударяється об поверхню анода і нагріває її до оплавлення. Від анода відокремлюється крапля розплавленого матеріалу і рухається до катода випереджаючи анод [11].

Крапля нагрівається до високої температури, закипає і “вибухає”. Коло струму переривається, стискуючі зусилля електромагнітного поля зникають і створені частинки летять широким фронтом (рисунк 1.1, в) [11]. Розплавлені частинки, потрапивши на катод, зварюються з ним і частково вкорінюються в його поверхню (рис. 1.1, г) [11]. За частинками рухається анод, ввімкнений у систему, яка встигає знову накопичити енергію. Крізь розігріті частинки, які розташовані на катоді, відбувається другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом анода. При механічному контакті електродів частинки зварюються між собою, тонкий шар поверхні катода прогрівається. При цьому, окрім дифузійних процесів, можуть проходити хімічні реакції між частинками і матеріалом катода. Механічний удар анода проковує утворене покриття (рисунок 1.1, д), збільшує його

щільність, однорідність, міцність зчеплення з основою. Далі анод рухається вгору (рис. 1.1, е) [11], а на поверхні катода залишається покриття, яке складається з матеріалу анода і продуктів взаємодії його з матеріалом катода, а також з оточуючим середовищем [11].



а – момент пробою між електродного проміжку; б – відділення від анода краплі розплавленого металу; в – вибух розплавленої краплі; г – осадження і впровадження матеріалу анода на катоді; д – момент контакту електродів; е – розходження електродів

Рисунок 1.1 – Схема процесу нанесення покриттів на металеві поверхні [11]

Дана модель процесу електроіскрового легування розроблена стосовно «чистового легування», тобто для випадку високої, напруги і невеликих значень струмів короткого замикання ($I < 10 \text{ А} — 20 \text{ А}$). Для «грубого легування» ($I_{к.з} > 10 \text{ А}$; $U_{х.х} < 50 \text{ В} – 60 \text{ В}$) описана модель вимагає деяких уточнень у зв'язку з незначною величиною пробивної відстані між електродами [11].

1.3 Вплив параметрів електроіскрової обробки на склад, будову, властивості поверхневих шарів

При ЕІЛ металічних поверхонь надійний результат залежить від ряду взаємозв'язаних умов, таких як інтенсивність процесу (кількість матеріалу, перенесеного на облицювальну поверхню за одиницю часу), величини енергії, що

виділяється в між електродному проміжку, частоти слідування імпульсів, від легуючого і легованого матеріалу, легуючого газу і газу-носія, що використовується при введенні їх у між електродний простір ззовні [12].

Процес формування покриттів при ЕІЛ залежить від наступних основних факторів: природи матеріалів анода і катода, їх поведінки при електроіскровому розряді, електричних параметрів процесу, складу оточуючого середовища, часу обробки. Формування покриттів характеризується рядом закономірностей [20].

Характерним є явище, коли при формуванні шару збільшення часу обробки приводить не до зростання товщини, а навпаки, починаючи з певного моменту, до його зменшення. Це пояснюється тим, що в процесі ЕІЛ змінюється хімічний склад катода і його фізико-механічні властивості, характер тепло- і масообміну між матеріалами анода і катода [20].

Протягом процесу ЕІЛ відбувається утворення карбідів, нітридів, окислів, диспергування зерен та ін., внаслідок серії складних фізико-хімічних явищ [21]. По-перше, температура нагрівання мікро об'ємів поверхні перевищує температуру кипіння матеріалу, а тиск ударної хвилі від електричного розряду досягає значення 7×10^5 кг/мм². По-друге, змінюється фазовий склад поверхневого шару катода в результаті перенесення на нього матеріалу анода [21].

Товщина легованого шару і його якість суттєво залежать від коефіцієнта перенесення – відношення інтенсивності ерозії анода до приросту маси катода. Коефіцієнт перенесення, як правило, не перевищує 90 % в зв'язку з частковим випаровуванням металу анода [22].

У випадку поліморфних перетворень матеріалу анода при нагріванні, в поверхневому шарі катода спостерігається високотемпературна модифікація матеріалу анода. За відсутності перетворень склад легованого шару визначається в основному розчинністю матеріалів анода і катода [13].

Основними змінними параметрами при електроіскровому легуванні:

- амплітуда коливання;
- сила струму протягом обробки;
- тривалість обробки.

Вважається, що для металів перехідних груп та тугоплавких металів проводити обробку треба не більше 180 с (3 хв). Крім того, існує розділення «грубого» та «чистого» легування.

В режимах «чистого» легування одержані покриття (легований шар) мають товщину 1 мкм – 5 мкм. На окремих ділянках спостерігається не суцільність легованого шару і каверни в основному матеріалі зразка, що вказує на випаровування або перенесення матеріалу катоду в процесі легування [24].

В режимах «грубого» легування значно зростає товщина покриття (до 20 мкм – 40 мкм), зміцнюється зв'язок «білого» шару з основою, на межі розділу спостерігається дифузійний шар без наявності оксидів і тріщин. Легований шар на окремих ділянках утворюється пошарово з високим дифузійним зв'язком між шарами. Окремі глибокі каверни на його поверхні також вказують на специфіку електроіскрового процесу [24].

В залежності від параметрів обробки продуктивність процесу ЕІЛ змінюється від $0,5 \text{ см}^2/\text{хв}$ до $20 \text{ см}^2/\text{хв}$. Товщина сформованих шарів коливається в межах $0,01 \text{ мм} - 0,2 \text{ мм}$.

Якісну оцінку процесу ЕІЛ можна отримати дослідивши поведінку та можливості електроду та поверхні катоду. Найбільш повну інформацію можна отримати при вивченні кінетичних залежностей ерозії аноду (Δm_a) та приросту катоду (Δm_k) при різних режимах обробки і оцінці властивостей сформованих покриттів (рівномірності, суцільності, товщини, мікротвердості, адгезії і т.д.) [24].

1.4 Структура та склад електроіскрових покриттів

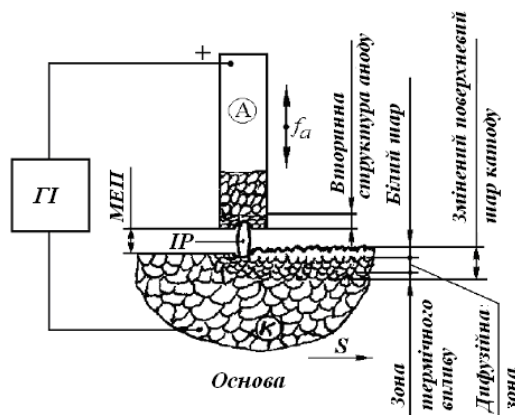
В процесі ЕІЛ на поверхні електродів в умовах локальної дії високих тисків ($2 \times 10^5 \text{ кг/мм}^2 - 7 \times 10^5 \text{ кг/мм}^2$) та температур ($5 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C} - 40 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$) утворюються шари зміненої структури. Надшвидке тепловідведення призводить до того, що в невеликому підшарі (декілька мікрон), температура швидко спадає до температури плавлення металу електроду, що супроводжується відповідними фазовими

перетвореннями [11]. Процеси кристалізації, фазових перетворень, дифузії та хімічної взаємодії в твердій фазі, які супроводжують ЕІЛ, сприяють утворенню вкрай нерівноважних структур з дрібними зернами, високою гетерогенністю за складом, структурою та властивостями. В результаті процесу ЕІЛ на катоді формується змінений поверхневий шар. Склад електроіскрового покриття іноді може складатися з фаз, яких немає в матеріалі аноду та катоду [11]. Відмінність складу легованого шару від складу матеріалів електродів може бути пов'язана з різною швидкістю ерозії їх структурних складових, дисоціацією електродного матеріалу та взаємодія його з середовищем при проходженні крізь іскровий проміжок, а також їхньою здатністю закріплюватися на матеріалі основи.

Загальна схема процесу ЕІЛ наведена на рисунку 1.2. Структура легованого шару (покриття), одержаного методом ЕІЛ складається з трьох шарів [11]:

- термодифузійна зона покриття та основного матеріалу;
- “білий” шар, який являє собою твердий розчин легуючих елементів або елементів, що містяться в електродному матеріалі;
- шар, сформований з фрагментів застиглого металу основи та складних хімічних сполук, інтерметалідів, нітридів, карбідів, оксидів, що утворилися в результаті взаємодії з середовищем, а також структури гартування [12].

Природа “білого” шару дотепер остаточно не встановлена. Наявність в цьому шарі пор, їх форма та характер розташування дали змогу встановити, що “білий” шар утворився з рідкого стану. Специфічні властивості цього шару пояснюють спрямованим масоперенесення матеріалу аноду на катод та імпульсним впливом на мікрооб’єми поверхневого шару високих тисків та температур. В процесі нанесення матеріалу аноду на катод можливі інтенсивне перемішування та хімічна взаємодія матеріалів обох електродів, а також взаємна дифузія в процесі одночасної кристалізації. “Білий” шар завжди знаходиться у безпосередньому контакті з зоною швидкісного високотемпературного відпуску, що має тривалий електрохімічний потенціал. При виключенні впливу цієї зони “білі” шари можуть бути протравлені звичайним реактивом [11].



ГІ – генератор імпульсів; МЕП – міжелектродний проміжок;
 ІР – іскровий розряд; А – анод (компактний електрод); К – катод (деталь);
 f_a – частота вібрації аноду; S – напрямок подавання деталі

Рисунок 1.2 – Загальна схема процесу ЕІЛ [11]

Мікроструктура “білого” шару незалежно від застосованих легуючих елементів однакова та відрізняється лише загальною товщиною та співвідношенням товщини нижнього та верхнього шару. Схожість отриманого шару при легуванні різними електродами лише підтверджує загальну хіміко - термічну основу зміцнення всіх електродів (окрім графіту), яку можна розглянути як електроіскрове азотування, а для графіту – як електроіскрове ціанування[14].

При цьому фазовими складовими структури зміцненого шару є аустеніт, нітриди, карбонітриди та гартовані структури (мартенсит, сорбіт, тростит).

Отже, структура легованого шару та його склад визначаються природою матеріалу аноду або його структурних складових, вони формуються за рахунок специфіки багатократної дії високих тисків та температур на мікро об’єми поверхневого шару та безпосереднього переносу матеріалу аноду на катод. Склад “білого” шару відрізняється від складу матеріалів електродів, що є наслідком хіміко-термічного впливу іскрового розряду на матеріали електродів, контакту розплавлених мікрооб’ємів матеріалів катоду та аноду між собою та з елементами міжелектродного середовища, дисоціації матеріалу аноду при проходженні через

іскровий проміжок, а також різною швидкістю ерозії структурних складових та різною адгезійною здатністю матеріалу аноду[13].

1.5 Висновки до розділу 1

На основі даних літературного огляду можна зробити висновок, що метод електроіскрового легування є ефективним і на сьогоднішній день успішно застосовується для створення покриттів з комплексом поліпшених властивостей та має достатньо великі перспективи. Але через складність процесів, які відбуваються в матеріалі під дією імпульсного високоенергетичного впливу, до цього часу недостатньо науково обґрунтовані принципи, що забезпечують розкриття усіх потенційних можливостей цих методів поверхневої обробки.

Отже, вдосконалення існуючих та розробка нових технологій (схем обробки) для отримання на металевих поверхнях покриттів функціонального призначення з наперед заданим комплексом підвищених фізико-механічних та триботехнічних характеристик сприятиме збільшенню ресурсу роботи, надійності та конкурентоспроможності деталей, дозволить відновлювати працездатність зношених робочих поверхонь різального, штампового інструменту та пар тертя.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріал дослідження

Задачі промисловості потребують матеріалів, що мають високу міцність та достатньо високий рівень пластичності, таким вимогам відповідають низьковуглецеві сталі. Саме тому такі сталі є найпоширенішими. Однак, не зважаючи на переваги, що мають деталі виготовлені з таких матеріалів, через особливості умов експлуатації, дії динамічних навантажень, що прикладені до деталей, призводить до їх руйнування. Тому залишається актуальним питання підвищення експлуатаційних характеристик. Найчастіше, зміцнення робочої поверхні виробу призводить до бажаних результатів.

Для покращення властивостей робочих поверхонь матеріалів, а саме підвищення міцності, зносостійкості та корозійної стійкості використовують різні методи, і в тому числі нанесення захисних покриттів[6].

Для дослідження формування електроіскрових покриттів, в якості катодів було обрано зразки із сплаву – сталі Ст3 (табл. 2.1).

Конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості Ст3 застосовують для виготовлення несучих елементів для зварюваних та незварюваних конструкцій, а також для деталей, що працюють при додатних температурах [14].

Вибір такого матеріалу дозволить краще вивчити вплив насичувального середовища і легуючих елементів на процеси формування структур, фазовий склад та властивості утвореного покриття.

У якості легувальних анодів було обрано: Cu, Al, C, Zr.

Мідь має здатності до утворення оксидів, що при взаємодії з елементами насичуючого середовища, дає змогу утворити функціональний шар на поверхні виробу який відіграє роль сухого мастила[12].

Таблиця 2.1 — Хімічний склад сталі Ст3 [26]

Матеріал	Хімічний склад
сталь Ст3	До 97 мас. % Fe; 0,14 – 0,22 мас. % C; 0,4-0,65 мас. % Mn; До 0,05 мас. % S; до 0,04 мас. % P; до 0,3 мас. % Cr; до 0,008 мас. % N; до 0,3 мас. % Cu; 0,3 мас. % Si.

Алюміній з залізом не утворюють твердої фази, а отже така сполука досить пластична[12].

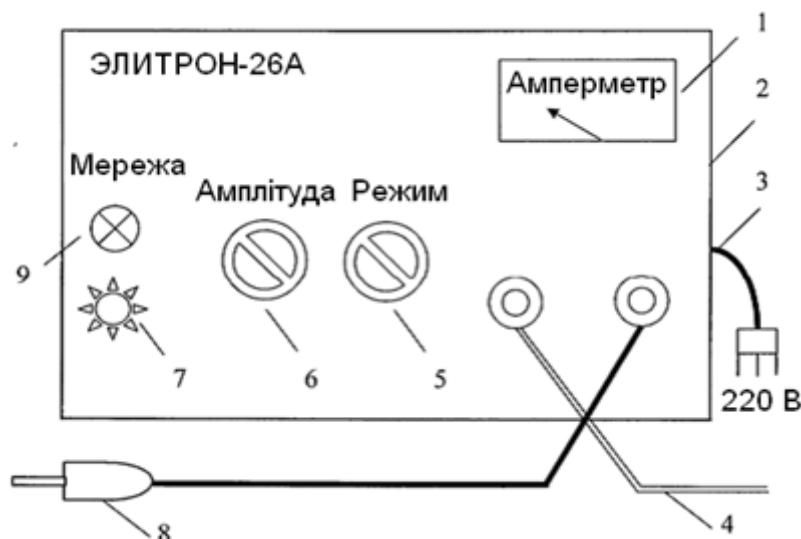
Цирконій володіє оксидною плівкою з високими захисними властивостями ($\rho = 1,56$). Однак оксиди цирконію добре розчинні у металі, навіть коли останній перебуває у твердому стані[13].

2.2 Методика експерименту

Процес ЕІЛ здійснюється на стандартній установці “Елітрон – 26А”, загальний вигляд якої наведено на рисунку 2.1.

Вмикання установки здійснюється вмикачем живлення установки 7, про що сповіщає сигнальна лампочка 9. Живлення установки відбувається від мережі 220 В [21].

За допомогою тумблеру ступінчастого регулювання режиму 5 від 1 до 10 здійснюється корегування струму електроіскрового розряду у діапазоні від 0,1 А до 3 А, що контролюється амперметром 1. Тумблером регулювання амплітуди коливання аноду 6 здійснюється корегування частоти вібрації аноду (ступені 1 – 10). Під час контактування аноду, закріпленому на віброзбуджувачі 8 з катодом (зразком), закріпленому на контактній плиті, приєднаній через кабель 4, виникає електроіскровий розряд, під час якого здійснюється нанесення матеріалу аноду на катоду. Вимикання установки здійснюється вимикачем живлення 7, коли загасає індикаторна лампа 9[14].



1 – амперметр; 2 – генератор; 3 – кабель живлення; 4 – з'єднувальний кабель (на плиту); 5 – тумблер ступінчастого регулювання режиму; 6 – тумблер регулювання амплітуди коливання аноду; 7 – вмикач живлення установки; 8 – вібробуджувач (на анод); 9 – сигнальна лампочка

Рисунок 2.1 – установка «Елитрон-26А» [11]

Метою даної роботи є дослідження впливу послідовності пошарового нанесення елементів міді, алюмінію, графіту та цирконію на кінетику формування та мікроструктуру Ст3 після ЕІЛ на повітрі.

Для досягнення поставленої мети процеси ЕІЛ проводили у три стадії нанесення елементів, що відбувалось у наступній послідовності: Cu – C – Zr, C – Zr – Cu, C – Cu – Zr, Al – C – Zr, C – Al – Zr, C – Zr – Al.

ЕІЛ відбувався на установці «ЭЛИТОН – 26Ф» режим роботи установки: сила струму $I = 2 \text{ A} - 2,5 \text{ A}$, напруга $U = 60 \text{ В} - 70 \text{ В}$, тривалість обробки – 1хв на 1 см^2 , загальна тривалість обробки на кожній стадії складала – 9 хв.

Передбачалось, що алюміній з залізом не утворюють твердої фази, а отже така сполука досить пластична, вуглець може знаходитись у вільному стані і виконувати роль твердого мастила. Наявність міді в легovanому шарі, яка не розчиняє вуглець, відіграватиме роль центра графітизації та сприятиме перебуванню деякої кількості графіту у вільному стані, що сприятиме підвищенню зносостійкості.

2.3 Методика досліджень

Отримані експериментальні дані можна проаналізувати використовуючи комплекс методів, які дозволяють вивчити досліджувані процеси та явища. Тому в роботі використано наступні методи: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюриметричний та рентгеноструктурний[11].

2.3.1 Гравіметричний метод

Метод оснований на вимірюванні маси зразків (анода і катоду) до і після електроіскрової обробки поверхні катоду після кожної хвилини.

З отриманих часових залежностей ерозії аноду та приросту ваги катоду визначають основні параметри процесу, такі як:

- питома ерозія аноду Δm_a вираз (2.2) та приріст маси катоду Δm_k вираз (2.1), які вимірюють за кожну хвилину (прохід електроду) обробки 1 см² поверхні катоду[11].

$$\Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}), \quad (2.1)$$

$$\Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_{n-1}), \quad (2.2)$$

де t – час n -го вимірювання маси зразка;

$t_n - 1$ – час попереднього вимірювання маси зразка.

- сумарні ерозія аноду $\sum \Delta m_a$ вираз (2.4) та приріст маси катоду $\sum \Delta m_k$ вираз (2.3), виміряні за час T , хв/см² або кількість проходів електроду n :

$$\sum \Delta m_k(t) = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}), \quad (2.3)$$

$$\sum \Delta m_a(t) = m_a(t_n) - m_a(t_{n-1}), \quad (2.4)$$

де t_n – час n -го вимірювання маси зразка;

t_0 – до ЕІЛ.

- коефіцієнт перенесення матеріалу визначався як відношення приросту маси катоду до величини ерозії аноду на кожній хвилині ЕІЛ вираз (2.5)[11]:

$$K = \frac{|\Delta m_k|}{|\Delta m_a|} \times 100\% \quad (2.5)$$

2.3.2 Мікроструктурний аналіз

Досліджуваний зразок закріплювали у струбцинах, розділивши леговану поверхню з поверхнею струбцини мідною прошарком, та піддавали механічній обробці на абразивному матеріалі (наждачний папір), змінюючи при цьому напрям шліфування на 90°. Зразок після шліфування промивали водою та полірували на шліфувальних дисках з сукном при використанні оксиду хрому, а потім на воді [14].

Для визначення структури зразок травили 5% розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

Дослідження мікроструктури проводили шляхом візуального спостереження та фотографування на оптичному мікроскопі «МЕТАМ».

2.3.3 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний аналіз поверхні легованого шару проводився на Rigaku. Рентгеноструктурний аналіз проводився з застосуванням сучасних методик одержання та обробки рентгенівських дифракційних даних, реалізованих на дифрактометрі Ultima IV, обладнаного лінійним скінтіляційним лічильником. Зйомку проводили у випромінюванні мідного аноду $\lambda_{K\alpha}\text{-Cu}$ ($\lambda = 1,54184 \text{ \AA}$).

Фазовий аналіз базується на порівнянні експериментальних і теоретичних даних міжплощинних відстаней (d/n) та інтенсивності ліній, які були отримані в результаті опромінення зразка рентгенівським пучком. Інтенсивність рефлексу

залежить від рентгенівського апарату: напруги на трубці; струму через трубку; розміру щілин; режиму роботи лічильника, квантів рентгенівського випромінювання .

Мірою чутливості рентгенівського фазового аналізу слугує мінімальна кількість речовини в суміші, що дає достатній для визначення наявності цієї фази в зразку набір її характерних рефлексів. Для різних фаз і різних сумішей фаз чутливість є різною. Вона тим більша, чим вища відбиваюча здатність атомної площини фази, присутність якої треба виявити, і чим слабшим є фон дифрактограми. Необхідно враховувати також співвідношення коефіцієнтів поглинання всієї суміші і досліджуваної фази. Речовини, що сильно розсіюють рентгенівське випромінювання, легко виявити в слабо розсіюючій суміші. Сполуки легких елементів в поєднанні із сполуками важких елементів можна виявити лише при їх великому вмісті.

Чутливість рентгенівського фазового аналізу різко знижується коли лінії досліджуваної фази розмиті через наявність мікронапружень, або дисперсності зразка, чи неоднорідності його за складом, або при утворенні твердого розчину.

Якщо фаза, присутність якої треба виявити, має текстуру, тобто кристали мають переважну орієнтацію в якомусь певному кристалографічному напрямку, це призводить до того, що деякі лінії на дифрактограмі посилюються, а деякі, навпаки, зникають. Завдяки цьому чутливість фазового аналізу підвищується, оскільки наявність сильних ліній дозволяє виявити меншу, ніж за відсутності текстури, кількість фази [6].

2.4 Висновки до розділу 2

Обґрунтовано вибір вихідних матеріалів дослідження та легувальних електродів.

Визначено комплексну методику дослідження, яка включає гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний, фазовий рентгеноструктурний аналізи та випробування на зносостійкість, що дозволило

детальніше проаналізувати отримані експериментальні результати та надати їм об'єктивну оцінку.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Метою даної роботи є вивчення структури, кінетики формування та мікротвердості легованих шарів, отриманих на поверхні сталі Ст3 електроіскровим легуванням анодами міді, цирконія, алюмінія та графіта.. Для досягнення поставленої мети було проведено ЕІЛ на повітрі, при струмі обробки $I = (2 - 2,5)$ А, напрузі $U = (60 - 70)$ В, протягом 9 хв. ЕІЛ проводилось в наступній послідовності нанесення анодів: Cu – C – Zr, C – Zr – Cu, C – Cu – Zr, Al – C – Zr, C – Al – Zr, C – Zr – Al.

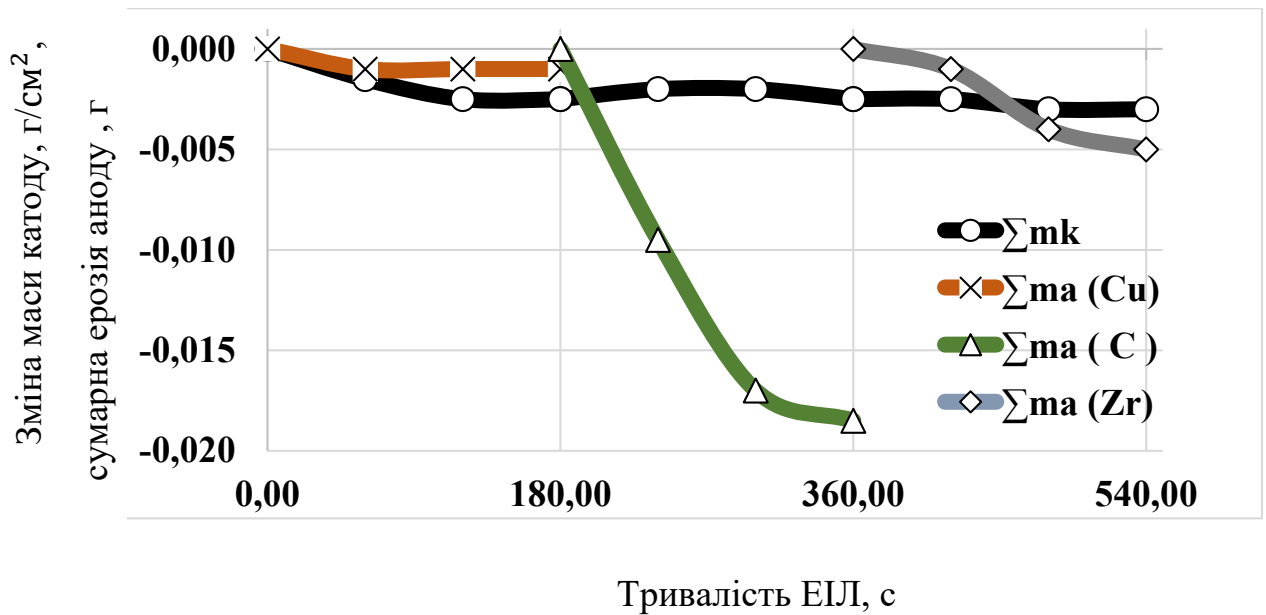
3.1 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності Cu – C – Zr

Для отримання зміцнених покриттів на сталі Ст3 ЕІЛ проводили з почерговим нанесенням: Cu – C – Zr.

Кінетику формування легованого шару визначали гравіметричним аналізом, контролюючи масу катоду та легувальних анодів після кожної хвилини легування, одним анодом легували 3хв.

Як видно з рисунка 3.1 маса катоду, при легуванні мідю зменшується, під час легування графітом дещо збільшується і на стадії легування цирконієм залишається не змінна при зменшенні маси аноду.

За результатами рентгеноструктурного аналізу сталі Ст3 після електроіскрової обробки анодами у послідовності Cu–C–Zr, на повітрі, було виявлено наступні фази: γ -Fe, ZrC, Cu (рис 3.3). Данні фазового складу поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ занесенні у таблицю 3.1



$\sum m_k$ – сумарний приріст маси катоду, $\sum m (Cu)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні міддю, $\sum m (C)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні графітом, $\sum m (Zr)$ – сумарна ерозія аноду при легуванні цирконієм.

Рисунок 3.1 – Кінетична залежність масоперенесення в процесі ЕІЛ у послідовності Cu – C – Zr

На рисунку 3.2 зображена мікроструктура отриманого зміцненого шару після обробки сталі Ст3 анодами міді, графіту, цирконію у послідовності: Cu – C – Zr (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст3 після ЕІЛ
Cu – C – Zr

Результати рентгеноструктурного аналізу сталі Ст3 після електроіскрової обробки анодами у послідовності Cu–C–Zr, на повітрі (рис. 3.3)

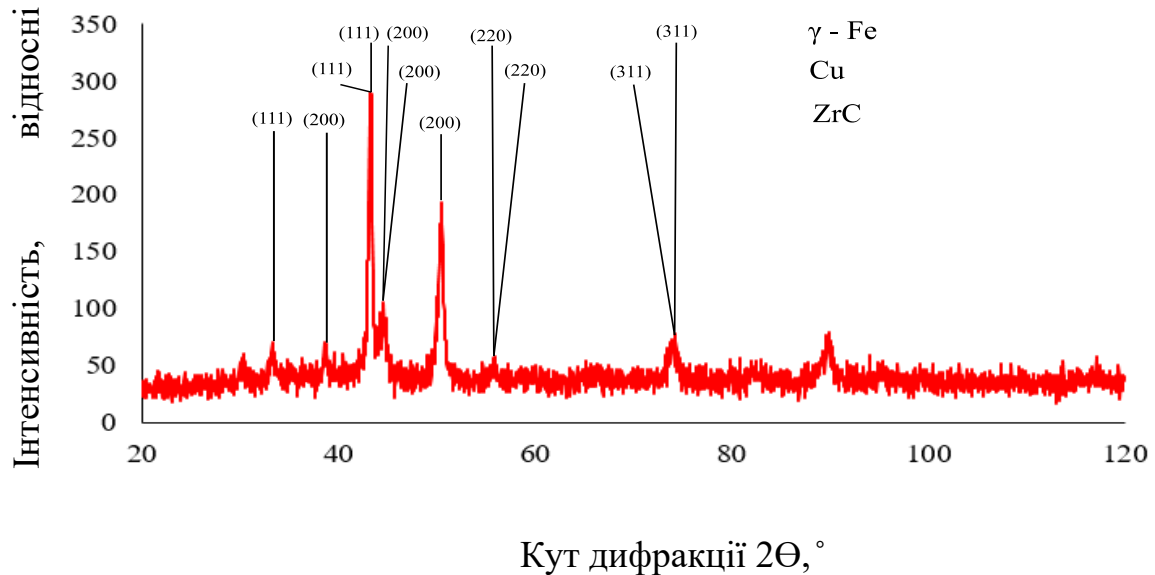


Рисунок 3.3 – Дифрактограма поверхневого шару зразка сталі Ст3 після ЕІЛ Cu – C – Zr, випромінення мідного аноду

Таблиця 3.1 – Фазовий склад поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності Cu – C – Zr

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощинна відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
1	40,50	2,687	ZrC (111)
2	38,39	2,342	ZrC (200)
3	43,18	2,093	γ -Fe(111), Cu (111)
4	50,39	1,809	γ -Fe(200), Cu (200)
5	56,00	1,640	ZrC (200)
6	74,01	1,279	γ -Fe (220), Cu (220)
7	89,70	1,0922	γ -Fe (311), Cu (311)

У таблиці 3.2 зазначено періоди кристалічної ґратки, розміри областей когерентного розсіювання та мікровикривлення ґратки для виявлених фаз.

Таблиця 3.2 – Параметри субструктури для легованого шару при ЕІЛ
Cu – C – Zr

Фаза	Період кристалічної ґратки a, Å	Розміри блоків ОКР(Å)	Мікрівикривлення $\Delta d/d$, %
γ -Fe	3,61	133	0
ZrC	4,65	170	0,20
Cu	3,62	208	3,4

За результатами мікродюрметричного аналізу побудовано графік залежності мікротвердості поверхневого шару сталі від основи до поверхні після ЕІЛ анодами у послідовності Cu – C – Zr (рис. 3.4).

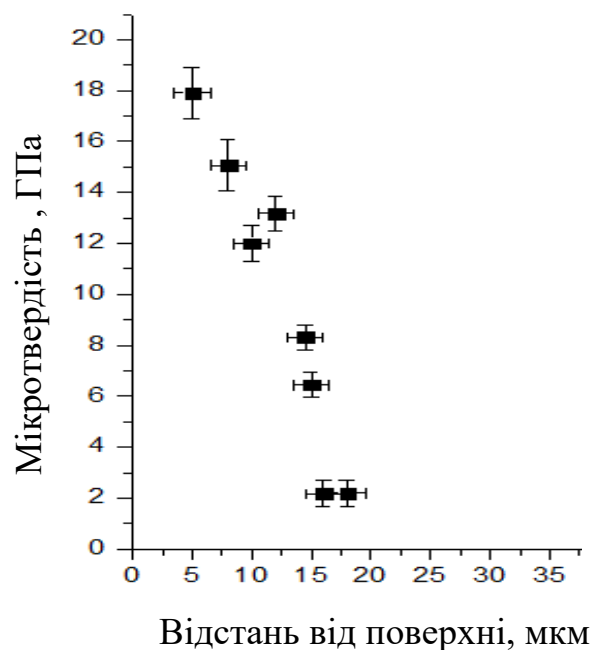


Рисунок 3.4 – Залежність мікротвердості зразка сталі Ст3 від відстані від поверхні зразка після ЕІЛ анодами у послідовності Cu – C – Zr

В межах легованого шару мікротвердість досягає значень 17,91 ГПа і з наближенням до межі шару зменшується до 7 ГПа. Як витікає з результатів рентгеноструктурного аналізу такі високі значення мікротвердості можуть бути зумовлені утворенням карбіду цирконія ZrC.

3.2 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Zr – Cu

ЕІЛ проводили з почерговим нанесенням анодів міді, графіту та цирконію, для дослідження зміни властивостей на поверхні сталі Ст3. ЕІЛ було проведено в послідовності: C – Zr – Cu протягом 3хв кожним з елементів.

Визначали гравіметричним аналізом, контролюючи масу катоду та легувальних анодів, після кожної хвилини легування, кінетику утворення легуючого шару.

Як видно з рисунка 3.5 маса катоду на стадії легування графітом спочатку збільшується, потім зменшується при зменшенні легувального елементу графіту (рис. 3.5).

При легуванні цирконієм приріст маси катоду зменшується впродовж всього легування, а маса аноду зменшується та потім залишається сталою

У випадку легування мідним анодом, приріст маси катоду залишається не змінним, а маса аноду після збільшення зменшується.

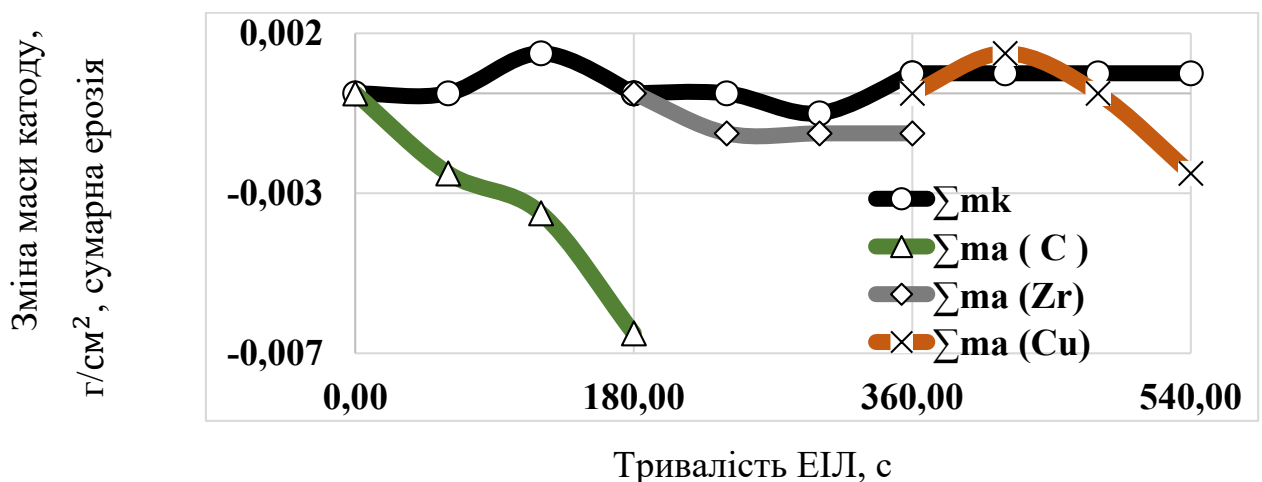


Рисунок 3.5 – Кінетична залежність масоперенесення в процесі ЕІЛ у послідовності C – Zr – Cu

На рисунку 3.6 зображена мікроструктура отриманого зміцненого шару зразка сталі Ст3 після обробки анодами C, Zr, Cu.

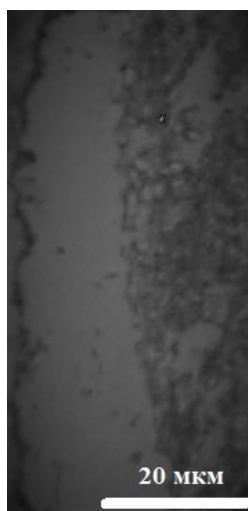


Рисунок 3.6 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст3 після ЕІЛ
C – Zr – Cu

Товщина легованого шару становить 15–20 мкм.

Рентгеноструктурний аналіз поверхні сталі Ст3 після електроіскрової обробки отриманого у послідовності легування C – Zr – Cu (рис. 3.7). Було виявлено наступні фази: ZrC, Cu та α -Fe (табл. 3.3).

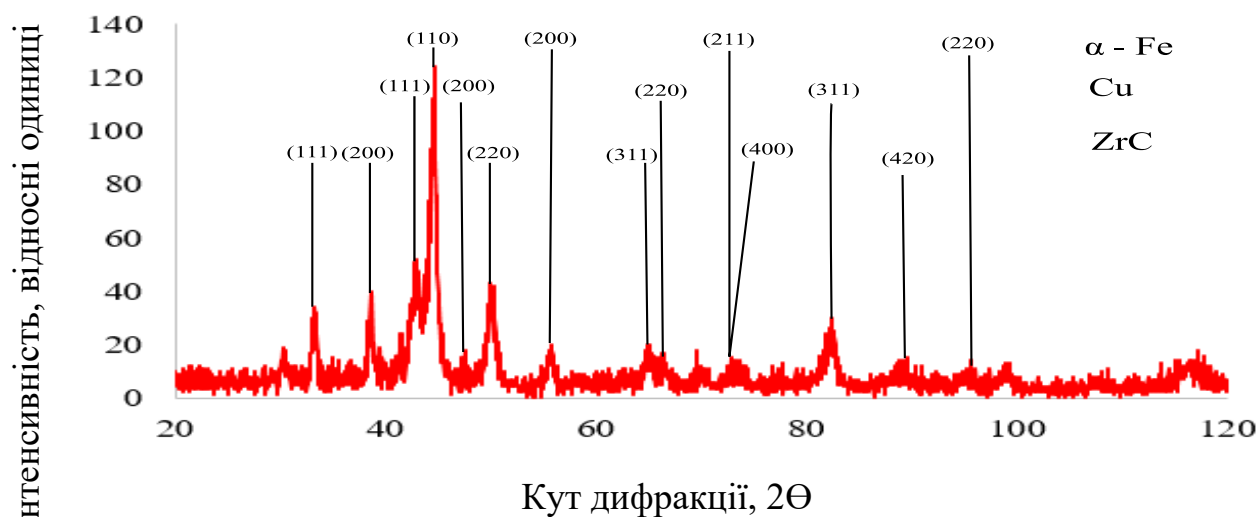


Рисунок 3.7 – Дифрактограма поверхневого шару зразка сталі Ст3 після
ЕІЛ C – Zr – Cu випромінення мідного аноду

Порівнюючи результати гравіметричного аналізу, які утворилися після легування у послідовності Cu – C – Zr та C – Zr – Cu можемо сказати, що маса катоду після легування в другому випадку змінюється більш амплітудно.

Таблиця 3.3 – Фазовий склад поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності С – Zr – Cu

№	Кут дифракції $2\Theta, ^\circ$	Міжплощина відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
1	33,18	2,698	ZrC (111)
2	38,58	2,332	ZrC (200)
3	42,89	2,103	Cu (111)
4	44,59	2,030	α -Fe (110)
5	49,87	1,827	Cu (200)
6	55,63	1,651	ZrC (220)
7	64,8	1,4382	α -Fe (200)
8	66,18	1,410	ZrC (311)
9	73,03	1,294	Cu(220)
10	82,35	1,170	ZrC (400), α -Fe (211)
11	88,8	1,101	Cu (311)
12	95,14	1,043	ZrC(420)
13	98,66	1,015	α -Fe (220)
14	116,32	0,906	Cu (400), α -Fe (310)

Порівнюючи параметри отримані після ЕІЛ в послідовності: Cu – С – Zr та С – Zr – Cu спостерігаємо, фазу γ -Fe та α -Fe відповідно, у двох система спостерігаються фази ZrC та Cu втім в першому випадку розмір блоків ОКР для ZrC – 170 \AA , а в другому зменшується до 157 \AA , також, порівнюючи розміри блоків ОКР Cu в першій системі 208 \AA , в другій теж спостерігається зменшення до 107 \AA (таб. 3.4).

Порівнюючи параметри отримані після ЕІЛ в послідовності: Cu – С – Zr та С – Zr – Cu спостерігаємо, фазу γ -Fe та α -Fe відповідно, у двох система спостерігаються фази ZrC та Cu втім в першому випадку розмір блоків ОКР для ZrC – 170 \AA , а в другому зменшується до 157 \AA , також, порівнюючи розміри

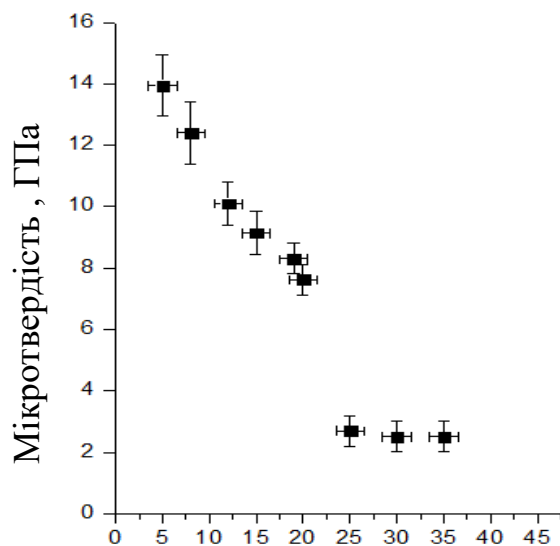
блоків ОКР Cu в першій системі 208 Å, в другій теж спостерігається зменшення до 107 Å.

Таблиця 3.4 – Параметри субструктури для легованого шару при ЕІЛ
C – Zr – Cu

Фаза	Період кристалічної ґратки a, Å	Розміри блоків ОКР(Å)	Мікровикривлення $\Delta d/d$, %
α -Fe	2,86	51,6	0
ZrC	4,66	157	0,3
Cu	3,65	107	0,2

На рисунку 3.8 можна спостерігати зміну мікротвердості легованого шару після ЕІЛ сталі Ст3.

Мікротвердість, для даного шару, збільшилась до 13,94 ГПа, що у порівнянні з ЕІЛ сталі Ст3 Cu – C – Zr, менша на 4 одиниці.



Відстань від поверхні, мкм

Рисунок 3.8 – Залежність мікротвердості зразка сталі Ст3 від відстані від поверхні зразка після ЕІЛ анодами у послідовності C – Zr – Cu

Порівнюючи параметри отримані після ЕІЛ в послідовності: Cu – C – Zr та C – Zr – Cu спостерігаємо, фазу γ -Fe та α -Fe відповідно, у двох система спостерігаються фази ZrC та Cu втім в першому випадку розмір блоків ОКР для ZrC – 170 Å, а в другому зменшується до 157 Å, також, порівнюючи розміри блоків ОКР Cu в першій системі 208 Å, в другій теж спостерігається зменшення до 107 Å.

3.3 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Cu – Zr

Для зміцнення покриття сталі Ст3 проводили електроіскрове легування з почерговим нанесенням легуючих елементів в такій послідовності: C – Cu – Zr

Як видно з рисунка 3.9 зміна маси катоду на стадії легування графітом збільшується, а потім зменшується, як і при легуванні в системі C – Zr – Cu (рис.3.9).

При легуванні міддю маса катоду збільшується, а при легуванні цирконієм маса залишається незмінною.

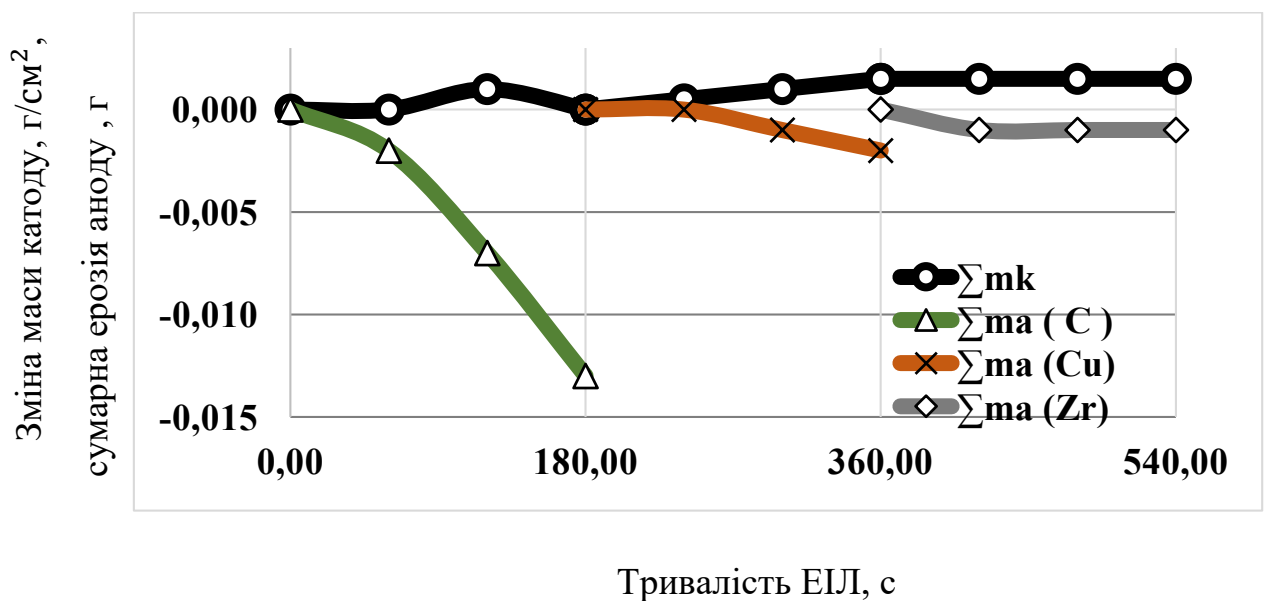


Рисунок 3.9 – Кінетична залежність масоперенесення в процесі ЕІЛ у послідовності C – Cu – Zr

На рисунку 3.10 зображена мікроструктура отриманого зміцненого шару зразка сталі Ст3 після обробки анодами (рис. 3.10).

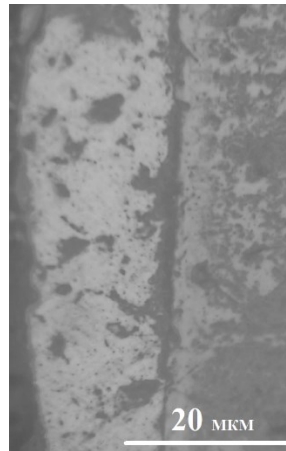


Рисунок 3.10 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст3 після ЕІЛ
С – Cu – Zr

За результатами рентгеноструктурного аналізу поверхні зразка сталі Ст3 після електроіскрової обробки отриманого у послідовності С – Cu – Zr (рис. 3.11) було виявлено наступні фази: ZrC, Cu, α -Fe(табл. 3.5).

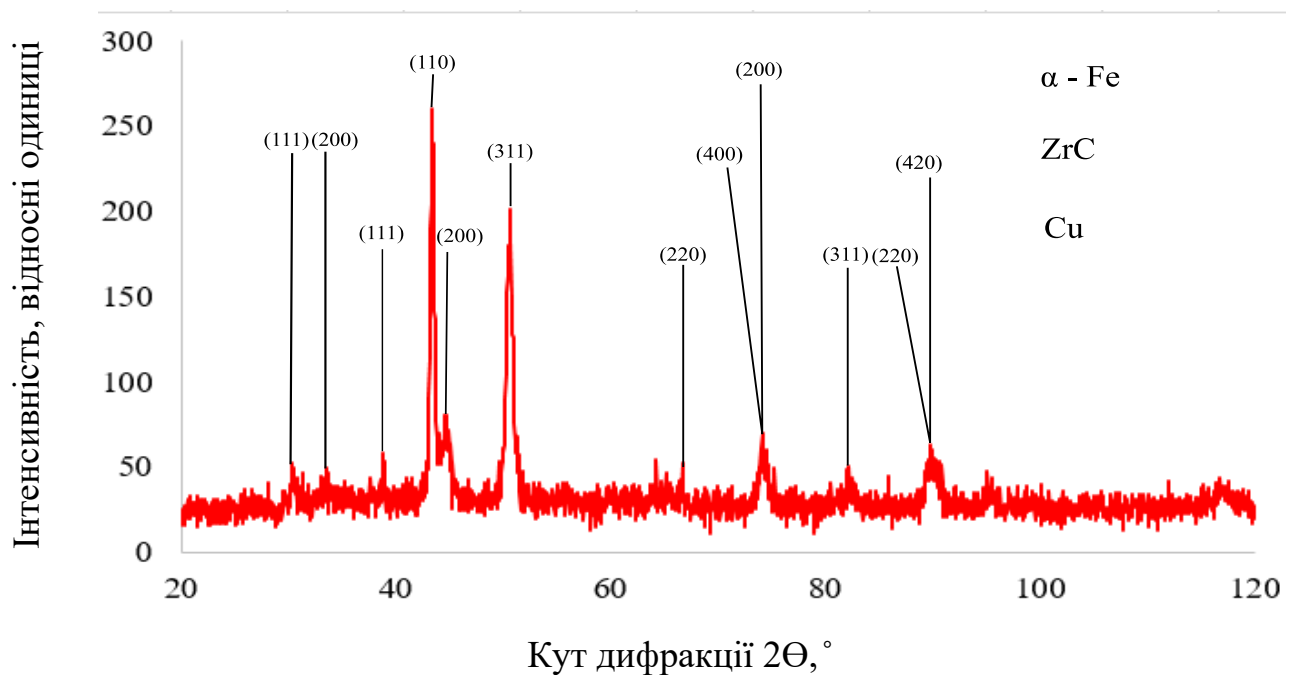


Рисунок 3.11 – Дифрактограма поверхневого шару зразка сталі Ст3 після ЕІЛ С – Cu – Zr випромінення мідного аноду

Таблиця 3.5 – Фазовий склад поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності С – Cu – Zr

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощинна відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
2	33,50	2,672	ZrC (111)
3	38,78	2,319	ZrC (200)
4	43,28	2,088	Cu (111)
5	44,85	2,019	α -Fe (110)
6	50,54	1,804	Cu (200)
7	66,37	1,407	ZrC (311)
8	73,97	1,280	Cu (220)
9	82,23	1,171	α -Fe (200), ZrC (400)
10	89,74	1,091	Cu (311)
11	95,34	1,041	Cu(222), ZrC (420)

У таблиці 3.6 зазначено періоди кристалічної ґратки, розміри областей когерентного розсіювання та мікровикривлення ґратки для виявлених фаз.

Таблиця 3.6 – Параметри субструктури для легованого шару при ЕІЛ С – Cu – Zr

Фаза	Період кристалічної ґратки $a, \text{\AA}$	Розміри блоків ОКР(\AA)	Мікровикривлення $\Delta d/d, \%$
α -Fe	2,86	-	-
Zr	4,66	-	-
Cu	3,61	138	0,2

На рисунку 3.12 зображена залежність мікротвердості від залягання легованого шару.

Мікротвердість зросла до 9,14 ГПа, втім порівнюючи з двома попередніми легованими шарами, можемо сказати, в даній послідовності мікротвердість зросла найменше.

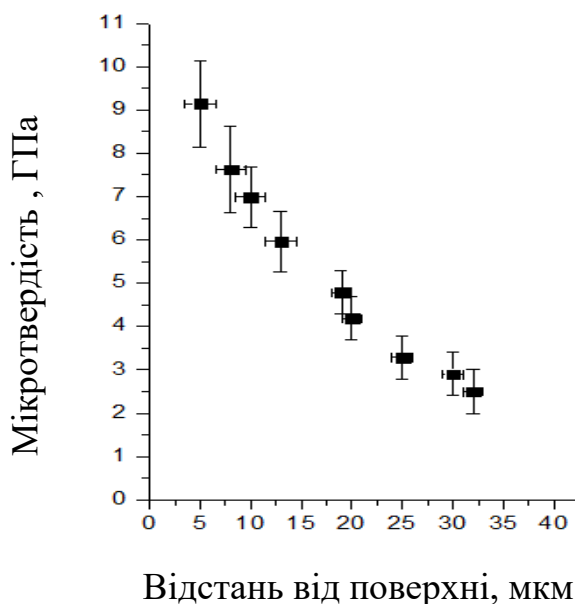


Рисунок 3.12 – Залежність мікротвердості від глибини залягання шару, після ЕІЛ анодами у послідовності С – Cu – Zr

3.4 Структура а властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності Al – C – Zr

Для отримання зміцнених покриттів на сталі Ст3 було проведено електроіскрове легування анодами алюмінію, графіту та цирконію з такою послідовністю нанесенням : Al – C – Zr

Кінетику формування легованого шару визначали гравіметричним аналізом, контролюючи масу катоду та легувальних анодів після кожної хвилини легування.

Як видно з рисунка 3.13 зміна маси катоду зменшується при легуванні алюмінієм з урахуванням того, що приріст маси анода також зменшується.

При легуванні графітом приріст маси анода зменшується, а приріст маси катоду спочатку збільшується, потім зменшується.

Приріст маси катоду під час легування цирконієм незначно збільшується, затим іде на спад у той час як маса аноду навпаки спочатку зменшується, потім зростає.

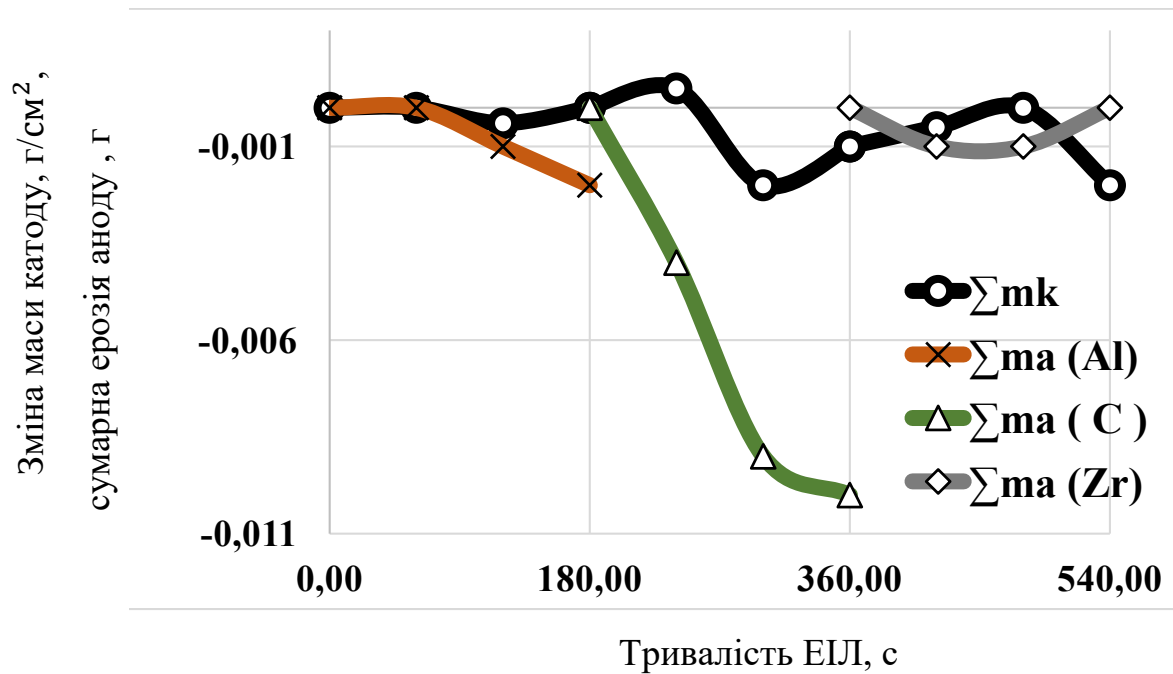


Рисунок 3.13 – Кінетична залежність масоперенесення в процесі ЕІЛ у послідовності Al – C – Zr

На рисунку 3.14 Мікроструктурний аналіз сталі Ст3 з легованим шаром, що становить 10 мкм.

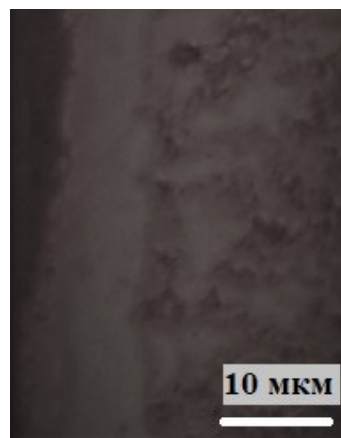


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст3 після ЕІЛ Al – C – Zr

З рентгеноструктурного аналізу (рис. 3. 15) можемо бачити фази: ZrC, γ - Fe, α - Fe (табл. 3.7).

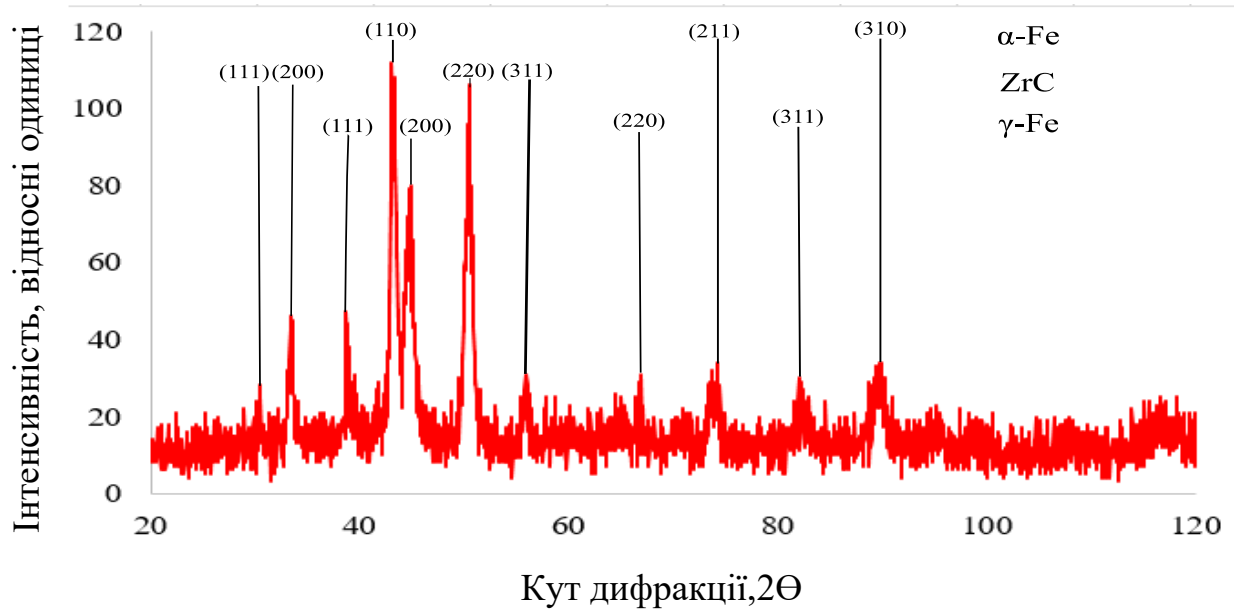


Рисунок 3.15 – Дифрактограма поверхневого шару зразка сталі Ст3 після ЕІЛ Al – C – Zr випромінення мідного аноду

Таблиця 3.7 – Фазовий склад поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності Al – C – Zr

№	Кут дифракції 2θ, °	Міжплощинна відстань, d/n, Å	Фаза (hkl)
1	33,51	2,672	ZrC (111)
2	38,70	2,324	ZrC (200)
3	43,16	2,094	γ -Fe (111)
4	44,66	2,027	α -Fe (110)
5	50,49	1,806	γ -Fe (200)
6	56,20	1,635	ZrC (220)
7	67,16	1,392	ZrC (311)
8	74,01	1,171	γ -Fe (220)
9	82,23	1,091	α -Fe (211)
10	89,79	1,091	γ -Fe (311)

Продовження таблиці 3.7

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощинна відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
11	116,7	0,904	α -Fe (310)

У таблиці 3.8 зазначено періоди кристалічної ґратки, розміри областей когерентного розсіювання та мікровикривлення ґратки для виявлених фаз.

Таблиця 3.8 – Параметри субструктури для легованого шару при ЕІЛ
Al – C – Zr

Фаза	Період кристалічної ґратки $a, \text{\AA}$	Розміри блоків ОКР(\AA)	Мікровикривлення $\Delta d/d, \%$
γ -Fe	3,63	116	0
α -Fe	2,86	131	0,46
ZrC	4,64	162	0

Мікротвердість даного легованого шару (рис. 3.16) зросла до 10 мкм, що у 5 разів більше за мікротвердість сталі Ст3.

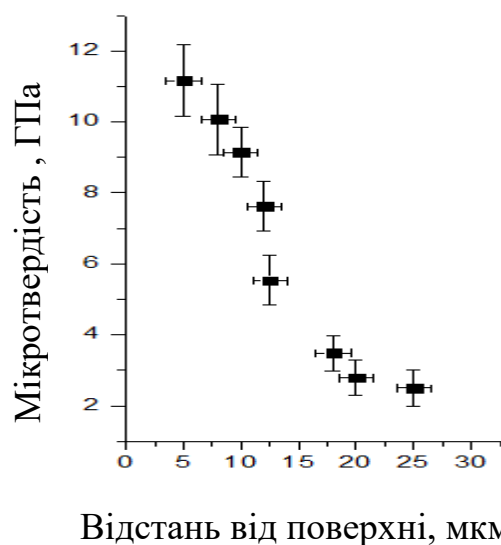


Рисунок 3.16 – Залежність мікротвердості зразка сталі Ст3 від поверхні зразка після ЕІЛ анодами у послідовності Al – C – Zr

3.5 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Al – Zr

На сталі Ст3 було проведено ЕІЛ анодами алюмінію, графіту та цирконію в наступній послідовності: C – Al – Zr

Кінетику формування легованого шару визначали гравіметричним аналізом, контролюючи масу катоду та легувальних анодів після кожної хвилини легування (рис 3.17).

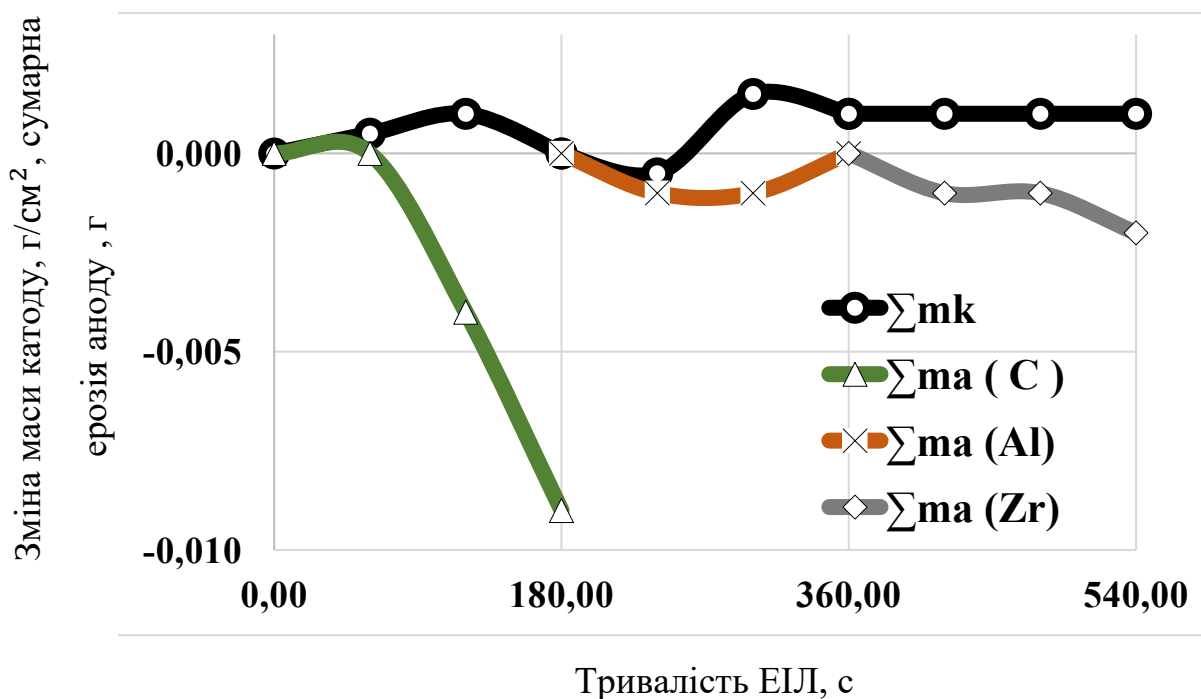


Рисунок 3.17 – Кінетична залежність масоперенесення в процесі ЕІЛ у послідовності C – Al – Zr

Як видно з рисунка 3.17 приріст маси катоду на стадії легування графітом збільшується, аноду зменшується.

При легуванні алюмінієм приріст маси катоду і аноду збільшується.

Приріст маси катоду не змінюється при легуванні цирконієм, а приріст маси аноду зменшується

На рисунку 3.18 зображена мікроструктура отриманого зміцненого шару зразка після обробки анодами у послідовності C – Al – Zr (рис. 3.18).

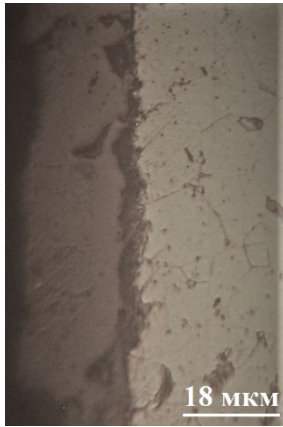


Рисунок 3.18 – Мікроструктура поверхневої зони сталі після ЕІЛ С – Al– Zr

Результати рентгенофазового аналізу поверхні зразка сталі після електроіскрової обробки отриманого у системі С – Al – Zr (рис. 3. 19), (табл. 3.9).

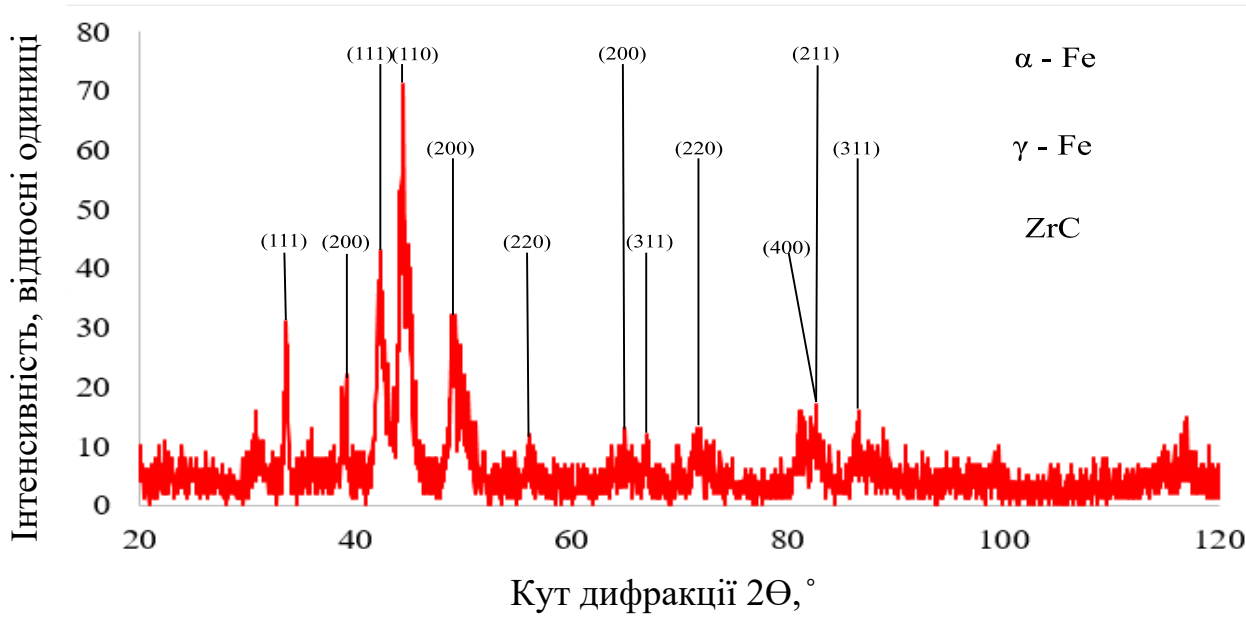


Рисунок 3.19 – Дифрактограма поверхневого шару зразка сталі Ст3 після ЕІЛ С – Al – Zr випромінення мідного аноду

Таблиця 3.9 – Фазовий склад поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності С – Al – Zr

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощина відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
1	33,52	2,671	ZrC (111)

Продовження таблиці 3.9

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощина відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
2	39,10	2,301	ZrC (200)
3	42,10	2,145	α -Fe (111)
4	44,28	2,044	α -Fe (110)
5	49,00	1,857	γ -Fe (200)
6	56,06	1,639	ZrC (220)
7	64,63	1,440	α -Fe (200)
8	67,17	1,392	ZrC (311)
9	72,04	1,309	γ -Fe (220)
10	82,2	1,172	α -Fe (211), ZrC (400)
11	86,47	0,124	γ -Fe (311)

У таблиці 3.10 зазначено періоди кристалічної ґратки, розміри областей когерентного розсіювання та мікровикривлення ґратки для виявлених фаз.

Таблиця 3.10 – Параметри субструктури для легованого шару при ЕІЛ
C – Al – Zr

Фаза	Період кристалічної ґратки $a, \text{\AA}$	Розміри блоків ОКР(\AA)	Мікровикривлення $\Delta d/d, \%$
γ -Fe	3,72	133	1,06
α -Fe	2,88	81	0,2
ZrC	4,63	249	0,122

Порівнюючи данні при ЕІЛ у послідовності Al – C – Zr та C – Al – Zr бачимо, що фази залишились ті самі, втім, ОКР у другому випадку зменшилась для α -Fe майже у 2 рази, γ -Fe з 116 до 133 \AA , відповідно, а в ZrC збільшилась від 162 \AA до 249 \AA .

З рисунка 3.20 наведені результати збільшення мікротвердості після ЕІЛ в системі C – Al – Zr.

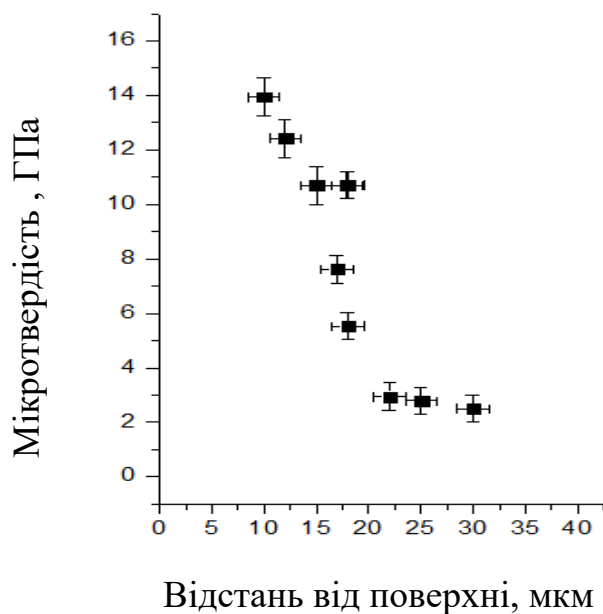


Рисунок 3.20 – Залежність мікротвердості зразка сталі Ст3 від відстані від поверхні зразка після ЕІЛ анодами у послідовності C – Al – Zr

Значення мікротвердості досягають 13,94 ГПа, що на 4 одиниці більше від попереднього легованого шару (рис.3.20).

3.6 Структура та властивості поверхні сталі Ст3 після електроіскрового легування в послідовності C – Zr – Al

Для отримання зміцнених покриттів на сталі Ст3 ЕІЛ проводили з почерговим нанесенням: C – Zr – Al

Як видно з рисунка 3.21 приріст маси катоду на стадії легування графітом збільшується .

Під час легування цирконієм приріст маси катоду та аноду змінювався однаково.

При легуванні алюмінієм приріст маси катоду та аноду зменшується.

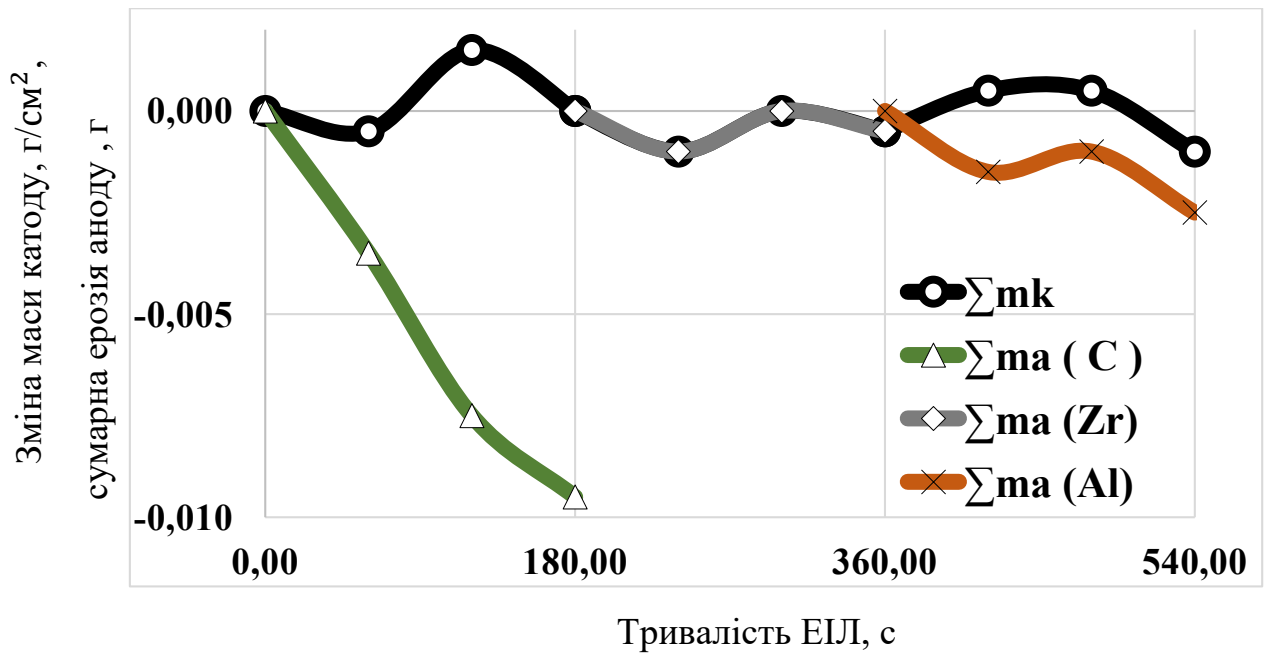


Рисунок 3.21 – Кінетична залежність масоперенесення в процесі ЕІЛ у послідовності C – Zr – Al

На рисунку 3.22 зображена мікроструктура отриманого зміцненого шару зразка заліза після обробки анодами у послідовності C – Zr – Al (рис. 3.22).

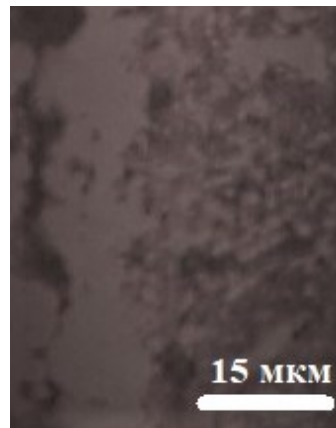


Рисунок 3.22 – Мікроструктура поверхневої зони сталі Ст3 після ЕІЛ C – Zr – Al

Результати рентгеноструктурного аналізу системи C – Zr – Al після ЕІЛ сталі Ст3 представленні (рис. 3. 23) (табл. 3.11).

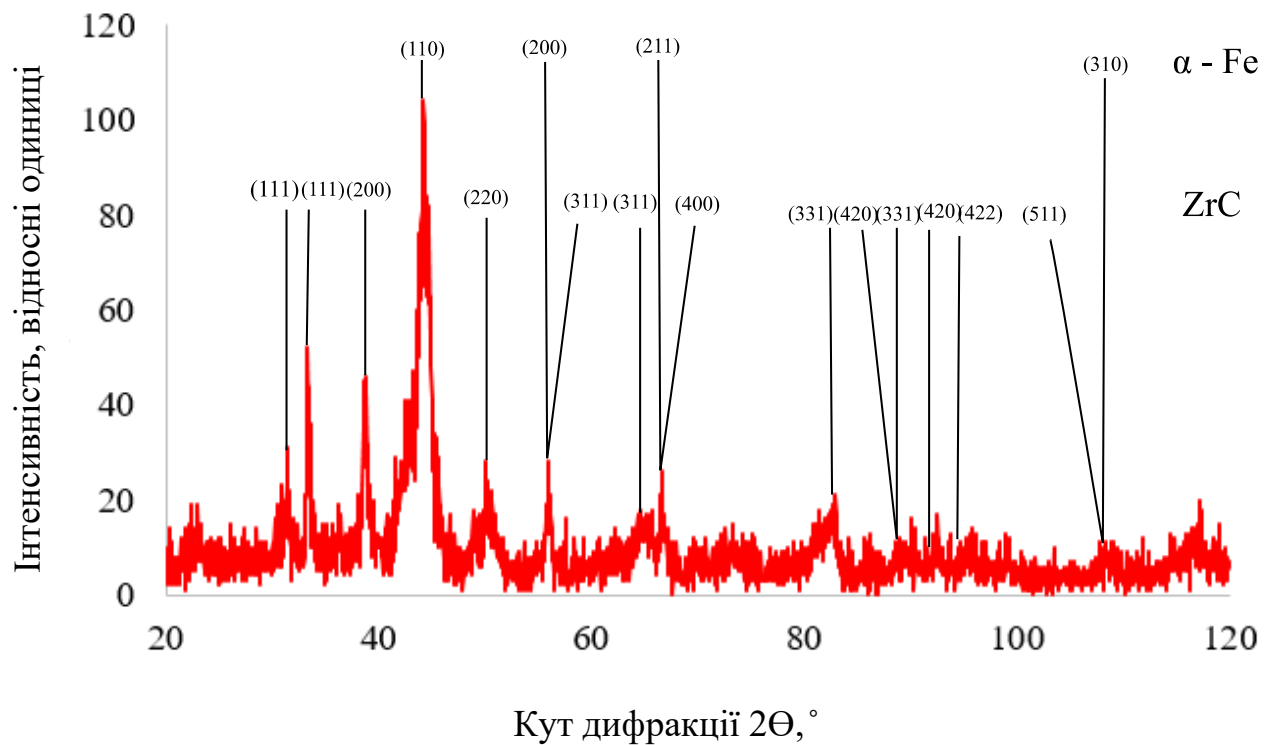


Рисунок 3.23 – Дифрактограма поверхневого шару зразка сталі Ст3 після ЕІЛ С – Zr – Al випромінювання мідного аноду

Таблиця 3.11 – Фазовий склад поверхневого шару сталі Ст3 після ЕІЛ у послідовності С – Zr – Al

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощина відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
1	31,69	2,820	ZrC (111), x
2	33,35	2,684	ZrC (111)
3	38,61	2,330	ZrC (200)
4	44,19	2,0480	α -Fe (110)
5	55,86	1,644	ZrC (220)
6	64,9	1,436	α -Fe (200), ZrC (311)
7	66,55	1,403	ZrC (311)
8	82,5	1,168	α -Fe (211), ZrC (400)
9	88,61	1,102	ZrC (331), X
10	92,12	1,069	ZrC (420), ZrC (331)

Продовження таблиці 3.11

№	Кут дифракції $2\theta, ^\circ$	Міжплощина відстань, $d/n, \text{\AA}$	Фаза (hkl)
11	95,04	1,044	ZrC (420)
12	108,10	0,951	ZrC (422)
13	117,2	0,902	α -Fe (310), ZrC (511)

За результатами рентгеноструктурного аналізу поверхні зразка сталі після електроіскрової обробки отриманого у послідовності C – Zr – Al (рис. 3. 23) було виявлено фази: ZrC, α -Fe (табл. 3.11), порівнюючи два попередні легуючі шари, спостерігаємо, що змінився фазовий склад.

У таблиці 3.12 зазначено періоди кристалічної ґратки, розміри областей когерентного розсіювання та мікровикривлення ґратки для виявлених фаз.

Таблиця 3.12 – Параметри субструктури для легованого шару при ЕІЛ C – Zr – Al

Фаза	Період кристалічної ґратки $a, \text{\AA}$	Розміри блоків ОКР(\AA)	Мікровикривлення $\Delta d/d, \%$
α -Fe	2,88	47,7	0
Zr	4,80	84	0,3
Zr	4,64	303	0,32

З рисунку 3.24 спостерігаємо, що мікротвердість даного легованого шару зросла до 13,9 ГПа, що у порівнянні з мікротвердістю легованих шарів після ЕІЛ із послідовністю нанесення анодів в системах C – Al – Zr майже однакова, а в системі Al – C – Zr нижча за дану систему на 3 одиниці.

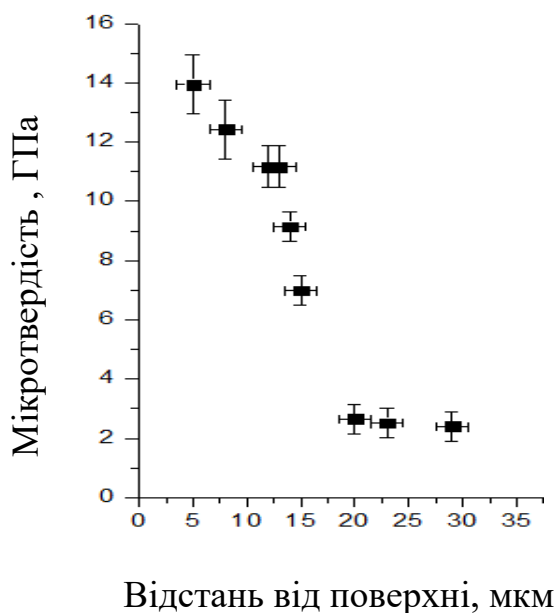


Рисунок 3.24 – Залежність мікротвердості зразка сталі від відстані від поверхні зразка після ЕІЛ анодами у послідовності С – Zr – Al

3.7 Порівняльна характеристика властивостей електроіскрових покриттів легованих в послідовності: Cu – C – Zr; C – Zr – Cu; C – Cu – Zr; Al – C – Zr; C – Al – Zr; C – Zr – Al

Досліджено структуру та властивості легованого шару сталі Ст3 отриманого методом електроіскрового легування алюмінієвим, мідни, цирконієвим графітовим анодами, з різною послідовністю нанесення, за допомогою гравіметричного, мікроструктурного, мікродюрOMETричного, рентгеноструктурного аналізу.

Виявлено, що найбільша ерозія аноду спостерігається під час стадії нанесення графіту. Це можна пояснити більшою крихкістю графіту у порівнянні з іншими анодами. Найменша ерозія аноду спостерігається при легуванні цирконієм.

Найбільша товщина легованого шару формується при легуванні у послідовності C – Zr – Cu; C – Cu – Zr і становить 15 мкм – 20 мкм, при C – Al – Zr 10 мкм – 18 мкм, при послідовності Cu – C – Zr; C – Al – Zr – 10 мкм – 15 мкм, при Al – C – Zr 5 мкм – 10 мкм (рис. 3.25).

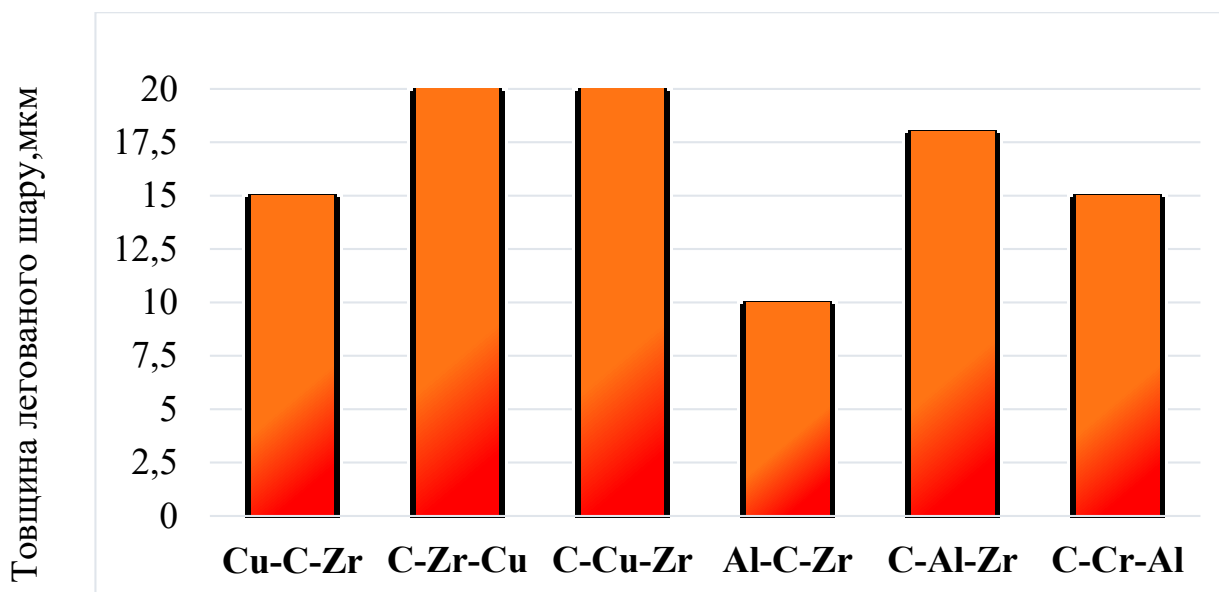


Рисунок 3.25 – Залежність товщини легованого шару від певної послідовності нанесення матеріалів анодів

Найбільша товщина легованого шару спостерігається в сталі Ст3 для випадку, коли першим легуючим елементом є вуглець. В результаті підвищується концентрація вуглецю в поверхневих шарах сталі і змінюються властивості цієї зони. При наступному легуванні цирконієм (міддю та алюмінієм) формування легованого шару буде відбуватись більш інтенсивно ніж при взаємодії цих елементів з залізом з меншою концентрацією вуглеця.

Підвищена мікротвердість легованих шарів після електроіскрової обробки, в різних послідовностях, зумовлено утворенням пересичених твердих розчинів цирконію, міді та алюмінію в залізі (період заліза збільшується до 2,883 Å), а також формуванням карбіду цирконію ZrC та мартенситу.

Найвище значення мікротвердості має покриття отримане в послідовності $Cu - C - Zr$ (17,9 ГПа); трохи нижче $C - Zr - Cu$; $C - Al - Zr$; $C - Zr - Al$ (13,9 ГПа); $Al - C - Zr$ (11,16 ГПа), а мінімальне значення – $C - Cu - Zr$ (9,14 ГПа) (рис. 3,26)

Найвище значення мікротвердості в легованому шарі після ЕІЛ в послідовності $Cu - C - Zr$ може бути пов'язане з тим, що попереднє насичення сталі міддю, яке не розчиняє вуглиця і з ним не взаємодіє сприяє більш інтенсивній взаємодії цирконія з вуглицем, на наступних стадіях легування, з утворенням карбіду цирконія вміст якого, в легованому шарі, досягає 12 %.

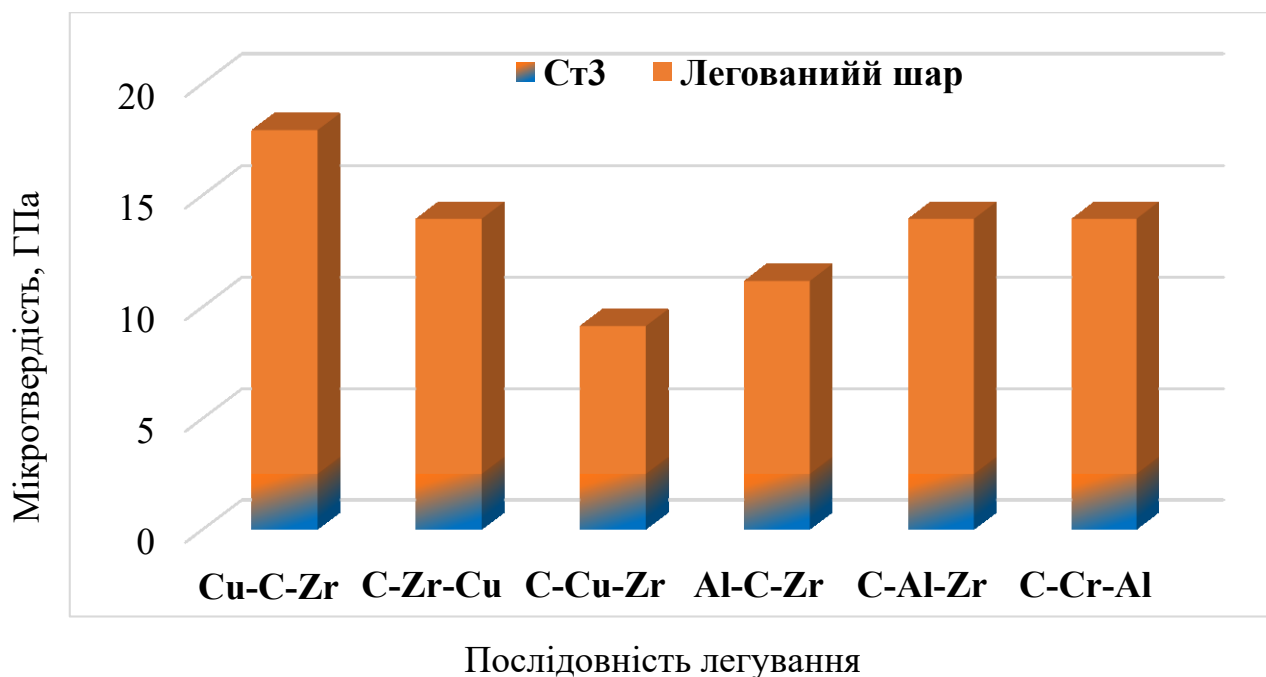


Рисунок 3.26– Залежність мікротвердості сталі Ст3 від послідовності нанесення анодів

Найвище значення мікротвердості в легованому шарі після ЕІЛ в послідовності Cu – C – Zr може бути пов’язане з тим, що попереднє насичення сталі міддю, яка не розчиняє вуглецю і з ним не взаємодіє сприяє більш інтенсивній взаємодії цирконію з вуглецем на наступних стадіях легування з утворенням карбіду цирконію вміст якого, в легованому шарі, досягає 12%.

На рисунку 3.27 можемо спостерігати, що найбільший розмір блоків ОКР має зразок сталі Ст3 після ЕІЛ в послідовності C – Zr – Al.

Розмір ОКР, що утворюються в процесі надшвидкого охолодження мікрооб’єму матеріалу катоду після електроіскрового імпульсу залежить від термічних напружень зумовлених різницею коефіцієнтів розширення співіснуючих фаз. Чим більші ці мікронапруження, тим більше формуються дислокацій і тим менше ОКР. Розміри ОКР фаз, що виникають в легованому шарі знаходяться в інтервалі 100 Å до 200 Å, збільшені розміри ОКР в карбіді ZrC при послідовності ЕІЛ C-Al-Zr; C-Zr-Al імовірно пов’язано з незначними мікронапруженнями, що виникли при охолодженні, оскільки, могла відбуватись

їх релаксація при наявності алюмінію, що має низьку твердість та високу пластичність.

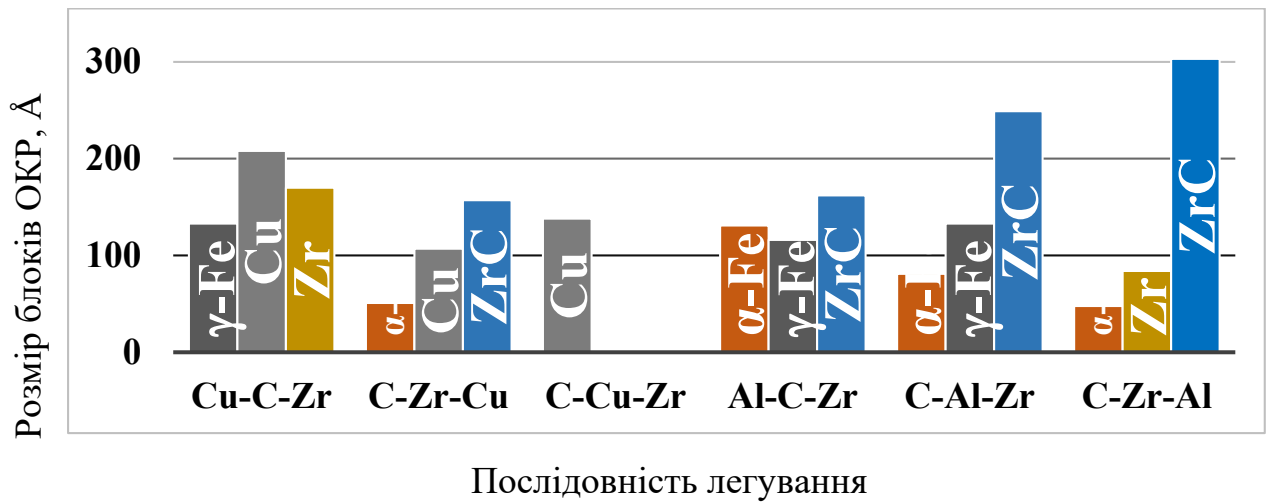


Рисунок 3.27–Розмір блоків ОКР в залежності від послідовності анодів

Фазовий склад легованих шарів після ЕІЛ сталі Ст3 в яких присутня мідь (Cu, Zr, C) відрізняється від фазового складу легованих шарів в яких присутній алюміній (Al, Zr, C) (рис. 3.28).

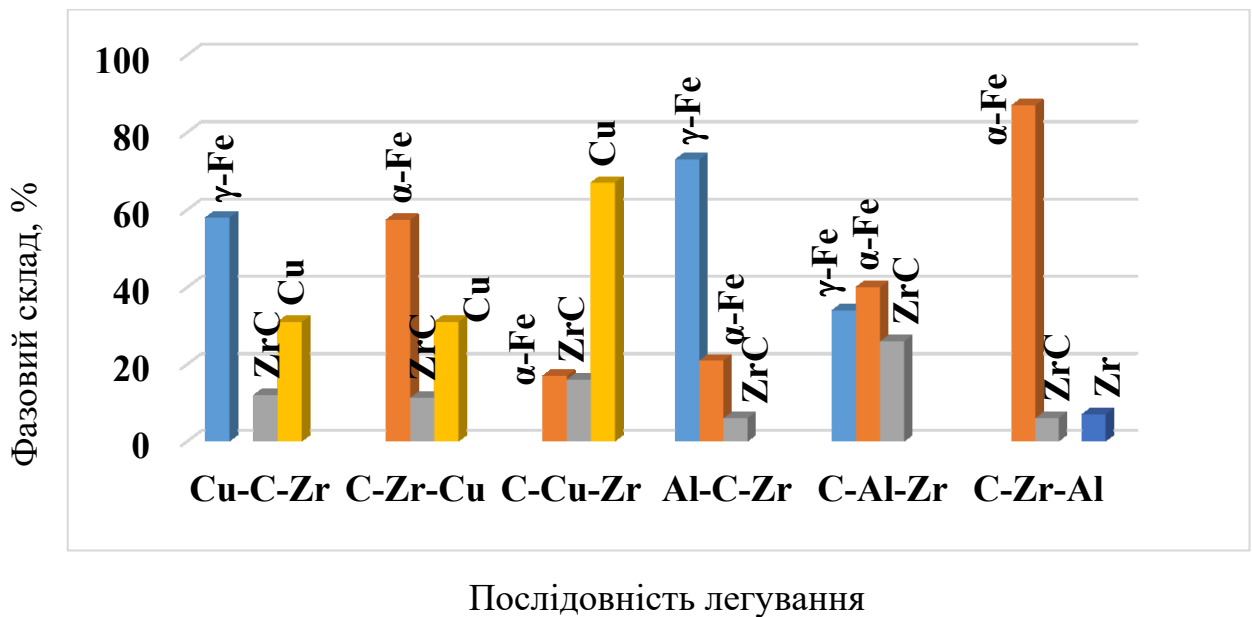


Рисунок 3.28– Порівняння фазового складу, після ЕІЛ, в різних послідовностях нанесення анодів

В легованому шарі, де присутня мідь (Cu, Zr, C), при всіх послідовностях ЕІЛ, фіксується наявність міді (від 31% – 67%) іншими складовими є карбід цирконію (від 11% – 16 %) та α -Fe або γ -Fe. При легуванні елементами (Al, C, Zr) не було виявлено алюмінію, фазовими складовими були карбід цирконію, α та γ -Fe. Така різниця, в фазовому складі, може бути пов'язана з тим, що температура плавлення алюмінію (660 °C) значно менша ніж у міді (1085 °C) і в процесі легування алюміній буде в більшій мірі випаровуватись і його маса перенесення буде менша ніж міді. В результаті вміст алюмінію, в легованому шарі, буде менше ніж міді

3.8 Висновки до розділу 3

1. Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі Ст3 при ЕІЛ анодами Cu (Al), Zr, C та вплив послідовності їх нанесення на фазовий склад та мікротвердість легованих шарів.
2. Показано, що найвищу мікротвердість має легований шар при ЕІЛ сталі в послідовності Cu-C-Zr, що пов'язано з формуванням в легованому шарі більшої кількості карбіду цирконію ZrC.
3. Виявлено, що більш високі значення мікротвердості, легованого шару, мають зразки сталі Ст3, які оброблені з використанням анодів Cu, Zr, C в порівнянні з використанням анодів Al, Zr, C.
4. Найбільші значення товщини легованого шару (20 мкм) спостерігаються, після електроіскрового легування сталі Ст3, елементами Cu, Zr, C.
5. Встановлено, що фазовий склад легованих шарів після ЕІЛ сталі Ст3 елементами (Cu, Zr, C) відрізняється від фазового складу при легуванні елементами (Al, Zr, C). В легованому шарі утворюються зони міді, в той час, як алюміній не фіксується рентгеноструктурним аналізом в легованому шарі.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап, як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (з появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідея даного проекту полягає у створенні нового покриття сталі Ст3 методом багаторазового ЕІЛ анодами Cu, C та Zr з різною послідовністю нанесення, з метою, покращення властивостей сталі Ст3 (табл.4.1 та 4.2).

Проведення повної оцінки ринкової спроможності наразі неможлива, оскільки, технологія ЕІЛ знаходиться в активному розвитку.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Багаторазове ЕІЛ сталі Ст3 анодами Al ,С та Zr з різною послідовністю нанесення, для дослідження зміни властивостей поверхні сталі Ст3	Медицина	Інструменти, що довго не потребують корегування
	Аграрна промисловість	Довший період експлуатації за рахунок збільшення корозійної стійкості (Деталі, що використовуються в умовах тертя)

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту наведеного в таблиці 4.2 Порівняння проводилось кінцевого продукту, обробленого шпинделя.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів		
		Мій проект	Конкурент1 (Flagma)	Конкурент2 (Allbest)
Шпindelь				
1	Витратні матеріали для створення покриття	Необхідні (N)	Дорогі (W)	Дорогі (W)
2	Екологічність	Висока (S)	Середня (N)	Низька (W)
3	Мікротвердість	S	W	W

Примітка: W - слабка сторона, N - нейтральна сторона, S - сильна сторона.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Покращення фізико-механічних властивостей поверхні сталі Ст3 після ЕІЛ	ЕІЛ сталі Ст3 анодами Al, C, Zr	Технологія наявна, можлива доробка	Доступна

З таблиці 4.3 можна зробити висновок, що ідею проекту можна реалізувати на виробництві маючи необхідне обладнання.

З таблиці 4.4 видно, що даний проект має низьку собівартість та, при дотриманні умов, доволі екологічний.

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Сплав з необхідними властивостям и поверхневого шару	Flagma, Allbest, Weining Group	Забезпечення необхідних властивостей: покращення корозійної стійкості та підвищення мікротвердості	Характеристики, довговічність, надійність, собівартість
2	Підвищення експлуатаційного строку деталі			

В таблиці 4.5 наведені сильні та слабкі сторони даного стартап-проекту

Таблиця 4.5 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none"> • Збільшений строк експлуатації деталі (шпиндель); • Збільшені економічність та екологічність . • Приймати участь у проектах, що фінансуються міжнародними компаніями, для наукових робіт 	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідно створити прототип пристрою для обробки деталей у промисловому масштабі. • Нестабільність політично-економічної ситуації, що негативно впливає на обсяг коштів для інвестиції

4.2 Висновки до розділу 4

Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Розробка модифікованого покриття на сталі Ст3, методом ЕІЛ анодами Al, C, Zr», засвідчив, що застосування даної технології для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі Ст3 є дуже перспективним.

Визначено, що можливість впровадження даної технології, опираючись на огляд потенційних груп клієнтів, незначна. Однак позитивним моментом є те, що головні конкуренти є потенційними клієнтами, що значно підвищує імовірність співпраці з компаніями.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ

Метою цього розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть призвести до травмування в процесі формування зносостійких покриттів на сталі СтЗ ЕІЛ Al (Cu), Zr та вуглецем, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів.

У даному розділі розглянуто засоби охорони праці під час виконання досліджень, що проводилася на «Елитрон-26».

Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні чинники:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- шум;
- вібрації;
- освітлення;
- електричний струм;
- випромінювання від та комп'ютера.

5.1 Аналіз роботи в приміщенні

Науково-дослідницька робота виконувалась на кафедрі фізики металів інженерно-фізичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського в корпусі № 9, на 0 поверсі в кімнаті № 036. Схема кімнати представлена на рис. 5.1.

Приміщення, в якому виконувалася НДР, має наступні установки:

1 – твердомір ПМТ-3, 2 – тумба, 3 – комп'ютер, 4 – робочі столи, 5 – дошка, 6 – шкаф, 7 – стіл для шліфування, 8 – прилад для вимірювання зносостійкості, 9 – прилад «Елитрон – 26», 10 – полірувальні круги, 11 – стіл.

Було проведено вимірювання приміщення аудиторії та вікон, які наведені нижче:

- розміри аудиторії: ширина – 6 м, довжина – 7 м, висота – 3,8 м.
- розміри вікон: ширина – 2,7 м, висота – 2,5 м.

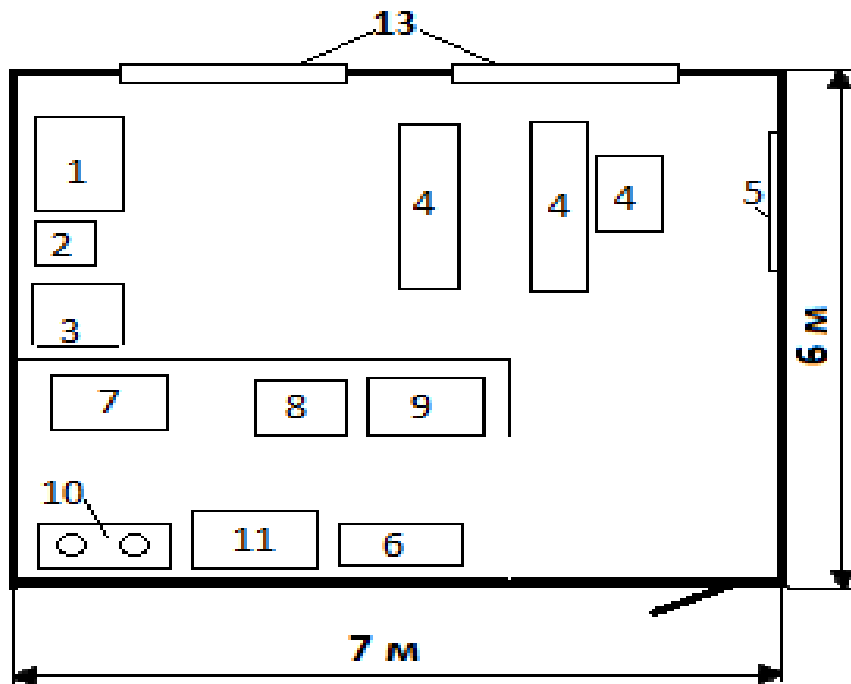


Рисунок 5.1 – Схема аудиторії в якій виконувалася науково-дослідницька робота

Аудиторія, в якій працює сім чоловік має площу 42 м², об'єм 156,9 м³. Площа, яка приходить на одну людину – 6 м², об'єм ~ 42 м³. Таким чином площа та об'єм аудиторії, згідно з ДБН В.2.2-28-2010, де на одну людину повинно приходитись не менше 6 м² площі та 20 м³ об'єму, відповідають нормам [15].

Важливе значення для нормальної працездатності людини має чисте повітря потрібного хімічного складу і оптимальної температури, вологості та швидкості руху, тому виконання науково-дослідної роботи супроводжувалося дослідженням мікроклімату в приміщенні лабораторії. При дослідженні мікроклімату знаходять такі складові: температура, рухливість повітря робочої зони та зіставлення результатів з встановленими нормами [15]. Також розрізняють категорії робіт за важкістю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ.

Згідно з [16] категорія важкості робіт – І б. Вона містить легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні кімнати 036 наведені у таблиці 5.1

В приміщенні науково-дослідницької лабораторії використовується водяне опалення та природна вентиляція.

Таблиця 5.1 – Величина параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 036

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Виміряна	Допустима	Виміряна	Допустима	Виміряна	Допустима
Холодний	20	17...25	70	<75	0,1	<0,2
Теплий	23	19...30	55	<60, при 27 °С	0,2	0,1...0,3

Можна зробити висновок, що мікроклімат в кімнаті 504 відповідає вимогам санітарних норм.

5.1.1 Склад повітря робочої зони

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом шкідливих речовин та пилом. Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій, які використовуються при проектуванні виробничих будівель, технологічних процесів, обладнання, вентиляції. За ГОСТ 12.1.005-88 [17] встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони виробничих приміщень.

Надходження до повітря робочої зони тієї чи іншої шкідливої речовини залежить від технологічного процесу, сировини, що використовується.

В даній лабораторії з матеріалами, які використовуються в твердому стані не проводяться процеси полірування, шліфування та травлення, а також щодня проводиться вологе прибирання приміщення. З вищенаведеного можна сказати, що шкідливі речовини та запиленість приміщення не перевищує допустимих значень.

5.2 Аналіз шуму та вібрації

Шум – це механічні коливання часток пружного середовища (газу, рідини, твердого тіла), що виникають під впливом будь-якої зовнішньої сили [18]. Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елитрон-26», що видає певний шум та вібрацію під час роботи.

Шум, навіть при відносно незначних рівнях звука (50 – 60) дБА, підвищує навантаження на нервову систему людини, що дуже відчутно за умов зайняття розумовою діяльністю. Він збуджує нервову систему, підвищує тиск крові, веде до передчасної втоми, викликає головний біль. Доказано, що багато захворювань (гіпертонічна та виразкова хвороби, неврози, шлунково-кишкові і шкіряні захворювання) пов'язано з перенапруженням нервової системи у процесі праці та відпочинку. Так, дія шуму 90 дБА і вище веде до зниження чутливості слухових органів, а іноді, в особливо незадовільних умовах на промислових підприємствах, до виникнення професійного захворювання – сенсоневральної приглухуватості. Дія шуму дуже високих рівнів (більш ніж 145 дБА) може призвести до пошкодження барабанної перетинки [18].

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99. У ньому встановлені параметри шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для різних видів трудової діяльності [19].

У даному випадку наявний імпульсний шум. оскільки робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від

шуму використовували засоби індивідуального захисту протишумові вкладиші, які встромляються у слухові проходи.

5.3 Інженерні рішення

5.3.1 Освітлення

Правильно підібране освітлення надає нормальні умови для організації робочого процесу. Освітлення буває трьох видів: природне, штучне і суміщене. Природне в свою чергу поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. Штучне – загальне та місцеве[20].

Погане освітлення виробничої зони може призвести до погіршення якості виконуваних робіт, наприклад, можуть залишитися непоміченими розриви, що з'явилися, потертості, витік палив і олій, механічні домішки в паливі й інше, що, у свою чергу, призводить до зниження безпеки праці. Погане освітлення виробничих територій може стати причиною багатьох важких і смертельних випадків, таких, як наїзд самохідних засобів механізації, що рухаються.

Коли правильно розраховано і підібрано освітлення виробничих приміщень, очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці. Такі умови освітлення сприяють зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

До переваг природного освітлення можна віднести те, що воно сприятливо впливає на органи зору та покращує розвиток організму у цілому. До недоліків відносять – непостійне освітлення у різні періоди доби та року; нерівномірний розподіл освітленості по площі виробничого приміщення; можливість засліплення органів зору [20]. Недостатня або надмірна освітленість можуть стати причиною розвитку короткозорості, зниження гостроти зору [20].

Природне і штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5.28-2006 від характеристики зорової роботи, найменшого розміру об'єкта

розрізнення, розряду зорової роботи (I-VIII), системи освітлення, характеристики фону, контрасту об'єкта розрізнення з фоном.

У кімнаті здійснюється природне бокове освітлення, вікна з південного боку. Відстань до місця основної роботи складає 1,5 м. Робота, що виконується відноситься до роботи середньої точності (четвертий розряд зорових робіт). Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (20 одиниць у кімнаті). Освітлення кімнати відповідає встановленому по ДБН В.2.5.28-2006 рівню в 200 лк [21].

5.3.2 Аналіз штучного освітлення

При штучному освітленні нормативною величиною є абсолютне значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової праці та системи освітлення (загальне, комбіноване). Розрахунок освітлювальної системи може бути виконано різними способами, які базуються на двох основних методах розрахунку: за світловим потоком і точковий. Найбільш розповсюджений в проектній практиці розрахунок за методом коефіцієнта використання потоку світла. Цей метод використовується для розрахунку загального рівномірного освітлення і дає змогу визначити світловий потік джерел світла, необхідний для створення нормованого освітлення розрахункової горизонтальної площини. Цим методом враховується прямий та відбитий (від стелі, стін та підлоги) потік світла [22].

В даній роботі використаємо метод світлового потоку. Основне розрахункове рівняння має вигляд [22]:

$$F = \frac{E \times S \times K \times Z}{N \times n \times \eta} \quad (5.1)$$

де F – світловий потік джерела світла, лм;

E – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання світлового потоку η визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i , коефіцієнтів відбиття стін та стелі. Показник приміщення i вираховується за формулою:

$$i = \frac{a \times b}{h \times (a + b)} = \frac{6 \times 6}{2,4 \times (6 + 6)} = 1,25 \quad (5.2)$$

де a і b – ширина і довжина приміщення, м;

h – висота світильника над робочою поверхнею, м.

Користуючись даними з таблиці 13 [22] за умовою, що:

$\rho_{\text{стелі}} = 80\%$, $\rho_{\text{стіни}} = 50\%$, знаходимо: $\eta = 48\%$, або 0,48.

З рівняння (5.3) заходимо E :

$$E = \frac{F \times N \times n \times \eta}{K \times S \times Z} = \frac{3200 \times 10 \times 2 \times 0,48}{1,5 \times 36 \times 1,1} = 517 \text{ лк}, \quad (5.3)$$

де F для ламп ЛБ = 3200 лм;

K = для ламп ЛБ становить 1,5.

Z = 1,1 для люмінесцентних ламп;

N = 10 шт.; n = 2 шт.; η = 0,48; S = 36 м²

Згідно ДБН В.2.5–28–2006 норма освітлення становить 200 лк. Отримане значення E перевищує норму тобто, штучне освітлення є достатнім.

5.3.3 Електробезпека

Кімната № 036, в якій проводилася науково-дослідницька робота відносять до приміщення без підвищеної небезпеки, відповідно до джерела [23]. Електричні прилади живляться напругою 220 В (комп'ютери та орг. техніка) зі змінним струмом та частотою 50 Гц.

Причинами ураження електричним струмом є :

- пошкодження ізоляції та, як наслідок, доступність до струмоведучих частин обладнання;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах внаслідок помилкового включення установки;
- невиконання або неправильне виконання вимог техніки електробезпеки, неуважність при роботі.

Причинами враження електричним струмом під час виконання трудового процесу з електрообладнанням є:

- 1) випадковий дотик до струмоведучих частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів недоступності або безвідповідальне відношення до безпеки персоналу;
- 2) дотик до неструмоведучих частин електроприладів випадково потраплених під напругу через ушкодження ізоляції чи іншого ушкодження;
- 3) потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключених електроприладах через помилкове їх включення.

Гранично допустимий струм через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для перемінного струму і 1 мА для постійного [24].

На тяжкість ураження струмом впливають такі фактори [24]:

- вплив стану шкіряного шару (порізи, подряпини, зволоження, збільшене потовиділення, забруднення шкіряного шару можуть призвести до значного зменшення загального опору тіла людини електричному струму);
- вплив параметрів електричного струму (постійний чи змінний струм, величина електричного струму).

Небезпека для організму людини тим менша, чим менша тривалість впливу струму. При тривалому впливі струму опір тіла людини падає і струм зростає до значення, здатного викликати зупинку дихання або навіть фібриляцію серця. Підвищена вологість повітря, струмовідний пил та хімічно активні домішки знижують опір ізоляції електроустановки, сприяють переходу напруги на не струмовідні частини установки, коротким замиканням тощо і, таким чином, підвищують небезпеку електротравм [22].

Протікання електричного струму через організм людини являє собою складний процес, який супроводжується значним спектром фізико-біологічних та хімічних реакцій, основними з яких є термічна, електролітична, механічна та біологічна. Термічна реакція тканин організму людини виникає внаслідок перетворення електричної енергії в теплову. Електролітична дія електричного струму на живі тканини полягає в розкладанні внутрішньоклітинної органічної рідини на іони. Механічна реакція організму людини на протікання електричного струму виявляється у вигляді електродинамічного ефекту, який полягає, наприклад, у різкому скороченні м'язових тканин. Біологічна реакція організму людини на електричний струм формується в результаті його дії на внутрішні біоелектричні процеси, в подразненні живих тканин [26].

У кімнаті, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів, відповідно до джерела [26].

5.3.4 Вентиляція приміщення лабораторії

Примусова вентиляція, вона ж **вентиляція з механічним спонуканням** передбачає у своїй системі наявність певних пристроїв для транспортування повітряного потоку. Ці пристрої називаються вентилятори, підбір яких і є кінцевою метою, яку передбачає розрахунок примусової вентиляції, тобто розрахунок вентиляції з механічним спонуканням.

Температура в приміщенні повинна становити 23°C, відносна вологість повітря 60 %.

Обсяг повітрообміну (витяжна вентиляція), необхідний для видалення надлишкового тепла з приміщення, розраховується за формулою:

$$L_Q = \frac{Q_{\text{надл}}}{C_p r (t_{\text{вид.}} - t_{\text{прит.}})}, \quad (5.4)$$

де $Q_{\text{надл}}$ – надлишкове тепло, кДж/год;

C_p – теплоємність сухого повітря, $C_p = 1,005$ кДж/год;

r – щільність повітря, що надходить, $r = 1,293$ кг/м³ при 273К;

$t_{\text{вид.}}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, °С;

$t_{\text{прит.}}$ – температура приточного повітря.

Температура повітря, що видаляється з приміщення визначається з виразу:

$$t_{\text{вид.}} = t_{\text{р.з}} + \Delta t (H - 2), \quad (5.5)$$

де $t_{\text{р.з}}$ – температура повітря в робочій зоні, $t_{\text{р.з}} = 25$;

Δt – температурний градієнт по висоті приміщення, $\Delta t = 0,5$ °С/м;

H – відстань від полу приміщення до центру витяжного зонта, $H = 2,5$ м;

Таким чином, температура повітря, що видаляється з приміщення складає:

$$t_{\text{вид.}} = 29 + 0,5 \times (2,5 - 2) = 29,25 \text{ °С.}$$

Надлишкове тепло розраховується за формулою:

$$Q_{\text{надл}} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (5.6)$$

де Q_1 – тепловиділення від штучного освітлення, кДж/год;

Q_2 – тепловиділення людей, кДж/год;

Q_3 – надходження тепла через світлові прорізи, кДж/год. ×

Тепловиділення від штучного освітлення розраховується за формулою:

$$Q_1 = 3600 \times N_{\text{осв}} \times n, \quad (5.7)$$

де $N_{\text{осв}}$ – сумарна потужність джерел освітлення, кВт;

n – коефіцієнт теплових втрат, $n = 0,2$ для люмінесцентних ламп.

У приміщенні наявно 5 світильників з двома лампами ЛД30 (30 Вт) і 3 місцевих світильника з люмінесцентними лампами потужністю по 7 Вт.

Тоді за формулою отримуємо:

$$Q_1 = (5 \times 0,03 + 3 \times 0,007) \times 0,2 \times 3600 = 123,12 \text{ кДж/год.}$$

Тепловиділення людей розраховується як:

$$Q_2 = 3600 \times q_i \times n, \quad (5.8)$$

де q_i – тепло, яке виділяється людьми (чоловіками), в залежності від витрат енергії і температури в приміщенні, кВт;

n – кількість людей, які одночасно знаходяться в приміщенні.

Для розумової праці явні тепловиділення одної людини складають близько 55 Вт при 20 °С.

Розрахуємо Q_2 за формулою:

$$Q_2 = (0,055 \times 3) \times 3600 = 594 \text{ кДж/год.}$$

Розрахуємо надходження тепла через світлові прорізи:

$$Q_3 = 3600 \times F_{\text{ст}} \times q_{\text{ст}} \times A_{\text{ст}}, \quad (5.9)$$

де $F_{\text{ст}}$ – площа поверхні застелення, м²;

$q_{\text{ст}}$ – виділення тепла від сонячної радіації, кВт/м²; через 1 м² поверхні стекла (з урахуванням орієнтації за стороною світла), $q_{\text{ст}} = 90 \text{ Вт/м}^2$;

$A_{\text{ст}}$ – коефіцієнт врахування характеру застелення, $A_{\text{ст}} = 0,6$.

В приміщенні наявні 2 вікна розміром 2×1,8 м. Тоді маємо:

$$F_{\text{ст}} = 2 \times 2 \times 1,8 = 7,2 \text{ м}^2$$

З урахуванням усіх величин теплопостачання тепла через світлові отвори складають:

$$Q_3 = 3600 \times 7,2 \times 0,6 \times 0,09 = 1399,68 \text{ кДж/год.}$$

Таким чином, надлишкове тепло в приміщенні складає:

$$Q_{\text{надл}} = 123,12 + 594 + 1399,68 = 2116,8 \text{ кДж/год.}$$

Повітрообмін необхідний для видалення надлишкового тепла за формулою, маємо:

$$L_Q = \frac{2116.8}{1.005 \times 1.293 \times (29.25 - 23)} = 260.63 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, для видалення надлишку тепла в лабораторії потрібно встановлення витяжної вентиляції продуктивністю 260,63 м³/год.

Встановлена витяжна вентиляція марки С4.65-3.0, складається з витяжного отвору, через який повітря видаляється з приміщення (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Витяжна вентиляція марки С4.65-3.0

При роботі витяжної системи чисте повітря потрапляє в приміщення через несущість в огорожуючих конструкціях. Ця обставина є суттєвим недоліком, так як неорганізований приток холодного повітря (протяги) можуть викликати простудні захворювання.

Отже, в холодний період року необхідна додаткова подача тепла (рис.5.3).

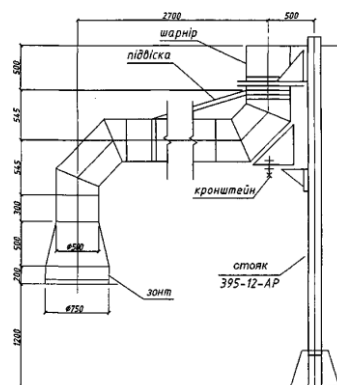


Рисунок 5.3 – Конструкція витяжної вентиляції марки С4.65-3.0

5.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків [27].

Під час виконання науково-дослідницької роботи можливе виникнення наступних надзвичайних ситуацій: пожежі, землетрусу, вибуху, аварії на електроенергетичних системах, руйнування будівлі.

5.4.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей .

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків

Проаналізуємо імовірність виникнення пожежі в приміщенні та засобів її запобігання.

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення кімнати 036-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії «В» (в лабораторії є горючі та важко горючі рідини, також тверді горючі та важко горючі речовини). Приміщення в якому вони знаходяться не відносяться до категорії А або Б). У приміщенні найбільш пожежонебезпечним місцем є місце де розміщено комп'ютерну техніку, місце де прокладена електропроводка. Загоряння може відбутися через коротке замикання в електропроводці [28]. Кімната водою із загальної мережі водопроводу, порошковими вогнегасниками оснащена для гасіння пожежі. План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на рис. 5.4.

Із засобів пожежогасіння у лабораторії є вогнегасники ОУБ-2 (вуглекислотно-брометиловий). Умови роботи задовольняють обмеженням на використанні вогнегасників цих типів (напруга електропристроїв не більше, ніж 1000 В). Засобами виявлення й оповіщення про пожежу є автоматичні датчики-сигналізатори про пожежу типу ДТП, що реагують на підвищення температури. У випадку пожежі на електроустановці, що знаходиться під напругою виникле полум'я не гаситься водою, а використовується вуглекислотний чи вуглекислотноброметиловий вогнегасник[29].

Основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500 В; обережне відношення з легкоплавкими речовинами [30].

Засобом оповіщення співробітників про пожежу служить внутрішній службовий зв'язок. На випадок пожежі є план евакуації працівників з будівлі (рис. 5.4).

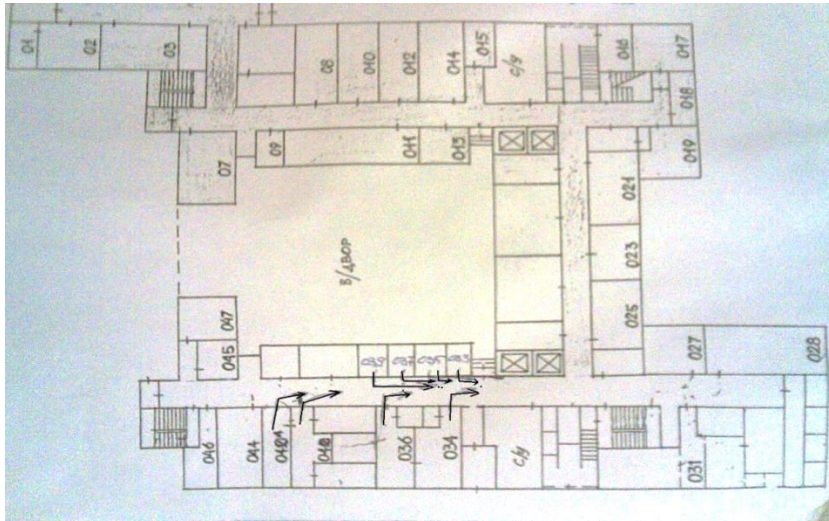


Рисунок 5.4 – План евакуації

Для запобігання займання одягу та його пошкодження потрібно використовувати спеціальний одяг що не піддається горіню (рис. 5.5)



Рисунок 5.5 – Спеціальний одяг STEELUZ

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробією електричної напруги на корпус зварювального агрегату

необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання.

У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб. У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це головного інженера або начальника лабораторії та звернутися в медпункт.

5.5 Висновки до розділу 5

1. У даній роботі дослідження, які проводяться згідно плану не є джерелом забруднення навколишнього середовища.

2. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів передбачає умови, за яких може виникнути небезпека ураження організму.

3. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Встановлена можливість формування зміцнених покриттів на сталі Ст3 при електроіскровому легуванні (ЕІЛ) анодами Cu, Al, Zr, C та вплив послідовності їх нанесення на фазовий склад та мікротвердість легованих шарів.

2. Виявлено, що більш високі значення мікротвердості легованого шару, мають зразки сталі Ст3 які оброблені з використанням анодів Cu, Zr, C в порівнянні з використанням анодів Al, Zr, C.

3. Найбільші значення товщини легованого шару (20 мкм) спостерігаються, після електроіскрового легування сталі Ст3 елементами Cu, Zr, C.

4. Встановлено, що фазовий склад легованих шарів після ЕІЛ сталі Ст3 елементами (Cu, Zr, C) відрізняється від фазового складу при легуванні елементами (Al, Zr, C). В першому легованому шарі утворюються зони міді, в той час, як в другому, алюміній не фіксується рентгеноструктурним аналізом в легованому шарі.

5. Визначено, що можливість впровадження даної технології, опираючись на огляд потенційних груп клієнтів, незначна. Однак позитивним моментом є те, що головні конкуренти є потенційними клієнтами, що значно підвищує імовірність співпраці з компаніями.

6. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів передбачає умови, за яких може виникнути небезпека ураження організму

CONCLUSIONS

1. The possibility of hardened coatings formation on steel St3 at electric – spark alloying (ESA) by Cu, Al, Zr, C anodes and the influence of the sequence of their application on the phase composition and microhardness of the doped layers has been established

2. It was found that higher values of the alloyed layer microhardness have steel St3 samples, which are processed using anodes Cu, Zr, C in comparison with the use of anodes Al, Zr, C.

3. The largest values of the thickness of the alloyed layer (20 μm) are observed after the electric-spark alloying of steel St3 by elements Cu, Zr, C.

4. It has been established that the phase composition of the alloyed layers after the ESA steel of St3 by elements Cu, Zr, C differs from the phase composition when alloying with elements Al, Zr, C. In the alloyed layer, zones of copper are formed, while aluminum is not fixed by X-ray diffraction analysis in the alloyed layer.

5. It has been determined that the possibility of implementing this technology, based on an overview of potential client groups, is insignificant. However, the positive point is that the main competitors are potential customers, which greatly increases the probability of cooperation with companies.

6. The analysis of harmful and dangerous factors involves conditions under which there may be a risk of body damage

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Верхотуров А.Д. Технология электроискрового легирования / А. Д. Верхотуров, И.М. Муха. – К.: Техника, 1982. – 181 с.
2. Верхотуров А.Д. Электродные материалы на основе карбидов вольфрама и титана для электроискрового легирования стали / А.Д. Верхотуров, С.Н. Кириленко, В.Т. Бондарь // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – М.: НИИмаш, 1980. – №4. – С. 3 – 5.
3. Назарец В.С. Влияние электроискровой обработки на эксплуатационные свойства валков прокатных станов / В.С.Назарец // Электронная обработка материалов. – 1979. – № 1. – С. 88 – 90.
4. Зайцева Н.В. Вплив структури перехідної зони легованого шару на властивості деталей з електроіскровим покриттям / Н.В. Зайцева // Металознавство та обробка металів – 2014. – №1. – С. 54 – 58.
5. Ершов В.М. Цементация стальной поверхности при электроискровой обработке графитом / В.М.Ершов // Сборник научных трудов сотрудников ДонГТУ. – Ладно, 2011. - № 31. - С. 219 – 225.
6. Лазаренко Н.И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами Электроискровая обработка металлов / Н.И. Лазаренко – М. 1960. – С. 36–66.
7. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко – М.: Машиностроение, 1976. – 47 с.
8. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 320с.
9. Повышение эффективности поверхностного упрочнения при электроискровом легировании деталей машин / Б. И. Лукичѳв, Ю. А. Белобрагин, С. В. Усов [и др.] // Электронная обработка материалов. 1987. с.22 - 25.

10. Ким В.А. Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изношения режущего инструмента / В.А. Ким – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 199с.
11. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
12. Могилевский И.З. Структурные изменения в железе и стали после / И.З. Могилевский // Проблемы электрической обработки материалов. – 1960. – Вып. 1. – С.86-97.
13. Превращение в поверхностных слоях сплавов железа при электроискровом легировании графитом / А.И. Михайлюк, А.Е. Гитлевич, А.И. Иванов [и др.]. // Электронная обработка материалов. 1986. – №4. – С.23-27.
14. Михайлюк А.И. Уменьшение шероховатости электроискровых покрытий при последующей обработке графитовым электродом / А.И. Михайлюк // Электронная обработка материалов. 2003. – №3. – С.21-23.
15. Гитлевич А.Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, В.В. Парканский – Кишинев: изд. Штиинца, 1985. – 197 с.
16. Электродные материалы для электроискрового легирования / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Ф. Прядко, Ф.Ф. Егоров – М.: Наука, 1988. – 224 с.
17. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко – М.: изд. АН МССР, 1959. – 183 с.
18. Изменение свойств титанового сплава ВТ-23, вызванное имплантацией ионов железа и циркония и последующим воздействием низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком / Е.А. Базыль, А.Д. Погребняк, Б.П. Гриценко [и др.] // Письма в ЖТФ – Т.25, вып.15, 1999. – С.66 – 73.
19. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева – М.: Наука, 1986. – 276 с.

20. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977.
21. Верхотуров А.Д. К вопросу о критерии эффективности процесса электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, Л.А. Коневцов, И.А. Астапов // ВестникАмГУ. – 2007. – Вып. 39. – С.6 – 9.
22. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев – Киев: изд. «Наукова думка», 1976. – 217 с.
23. Луцевич В.И. Электроискровая обработка металла / В.И. Луцевич – Харьков.: Кн.изд, 1963. – 36 с.
24. Пячин С.А. О Зависимости изменения массы электродов от времени при электроискровом легировании / С.А. Пячин, Н.Е. Аблесимов, Д.Л. Ягодзинский // Электрические методы обработки поверхности. – 2003.– №1.– С.19 – 26.
25. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323 с.
26. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании и формирование вторичной структуры на аноде / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химия обработки материалов. – 1986.
27. Лубан Р.Б. О возможном механизме переноса материала анода на катод при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С. Пеккер // ЭОМ. – 1991.
28. Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей
29. Ким В.А. Влияния условий электроискровой обработки на эрозионный процесс / В.А. Ким, Д.Н. Коротаев, А.В. Гелин // Физика и химия обработки материалов.
30. Николаенко С.В. Формирование поверхностного слоя при

механизированном электроискровом легировании переходными металлами / С.В. Николаенко, А.Д. Верхотуров, С.Б. Коваленко // Перспективные материалы.

31. Парамонов А.М. Электрические методы обработки поверхности / А.М. Парамонов, А.В. Коваль – М.: ЦБТИ Министерства электропромышленности.

32. Намитоков К.К. О соотношении пароподобной и жидкой фаз и продуктах электрической эрозии металлов / К.К. Намитоков // Ук.физ.журнал. – 1962.

33. Свойства и особенности формирования покрытий на стали 45 тугоплавкими d-металлами / А.Д. Верхотуров, В.П. Лунева, Т.В. Глабец [и др.] // Электронная обработка материалов.

34. Исследование кинетики массопереноса при электроискровом легировании стали 45 электродами Ni-Cr-NiAl / А.В. Паустовский, Р.А. Алфинцева, Т.В. Куринная [и др.] // Перспективные материалы.

35. Лунева В.П. Состав и структура хромоникелевых электроискровых покрытий на стали 45 / В.П. Лунева, Т.В. Глабец, А.В. Козырь // Материалы II научной конференции «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники».

36. Износо – и коррозионно – стойки электроискровые покрытия из эвтектических сплавов на стали 30ХГСА / В.Н. Гадалов, Ю.В. Болдырев, Е.В. Иванова, Ю.Г. Алехин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006.

37. Воровьев Г.М. Структура поверхностных слоев, полученных электроискровым легированием эвтектических сплавов FeCrPC / Г.М. Воровьев, В.В. Юхненко, А.А. Колбасин // Вопросы формирования метастабильной структуры сплавов. Днепропетровск.

38. Ковальченко М.С. Электроискровое легирование стали безвольфрамовыми твердыми сплавами / М.С. Ковальченко А.В. Паустовский, С.Н. Кириленко // Порошковая металлургия.

39. Електроіскрове легування сталей матеріалами на основі сплаву ВК з

карбідохромовими додатками / О.В. Паустовський, С.Н. Кириленко, Р.А. Алфінцева, О.Д. Костенко// Фізико-хімічна механіка матеріалів.

40. Закон України "Про охорону праці", затверджений Постановою Верховної Ради України від 21.11.2002 р. № 229-IV.

41. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник. – 5-те вид./ М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський // К.: Каравела, 2011. – 384 с.

42. Дсан ПІН 3.32.007–98 – Будівельні норми і правила.

43. ДСН 3.3.6.042–99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

44. ГОСТ 12.1.005-88 – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

45. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

46. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько // М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

47. Серіков Я.О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти / Я.О. Серіков // Харків, ХНАМГ, 2007. - 227с.

48. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення.

49. Москальова В.М. Охорона праці: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / В.М. Москальова // Рівне: НУВГП, 2009.

50. Електричне освітлення та опромінення [Текст] : методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів факультету енергетики та автоматики / Національний університет біоресурсів і природокористування України ; уклад. Л. С. Червінський [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2014. - 59 с.

51. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

52. ПУЕ-86 – Правила улаштування електроустановок.

53. ГОСТ 12.1.009-76 – Система стандартів безпеки труда. Електробезпеку.

54. Кодекс цивільного захисту України, затверджений Верховною Радою України від 02.10.2012р. № 5403-V.

55. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою